

ВЫСШЕЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ  
УЧЕБНИК

# Ремонт автомобилей



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ТРАНСПОРТ“

ББК 39.3308  
P20  
УДК 629.113.004.67(075.8)

Авторы: Л. В. Дехтеринский, К. Х. Акмаев, В. П. Апсин,  
Р. Е. Есенберлин, В. И. Карагодин, С. К. Лосавио, С. И. Румянцев, А. И. Сергеев,  
А. Ф. Синельников, А. Я. Суриков, А. Г. Теплов, Ю. Л. Штоль, М. В. Капырин, С. Б. Норкин,  
В. М. Приходько, С. А. Скрипников, В. А. Тимошкин

Рецензент Л. Г. Лавров

**Ремонт автомобилей: Учебник для вузов/ Л. В. Дехтеринский, К. Х. Акмаев, В. П. Апсин и др.; Под ред. Л. В. Дехтеринского.— М.: Транспорт, 1992.— 295 с.: ил., табл.**

ISBN 5-277-01231-1

В учебнике рассматриваются основные вопросы ремонта и производства автомобилей, которые предусматриваются учебными программами соответствующих учебных дисциплин. Приведены основные положения теории восстановления, даны основы теории эффективности ремонта, основы управления качеством ремонта автомобилей, описана технология типовых ремонтных процессов и методы оптимизации решения некоторых технологических задач.

Учебник предназначен для студентов автомобильно-дорожных и других институтов, которые осуществляют подготовку инженеров по специальности 1505 «Автомобили и автомобильное хозяйство»

3203030000-279

Р ————— 127-92  
049(01)-92

ББК 39.33-08

ISBN 5-277-01231-1

© Коллектив авторов, 1992

Предисловие	7
Введение (Л В Дехтеринский)	8

## ЧАСТЬ I

### ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЕЙ

<b>Глава 1 Понятие об изделии, производственном и технологическом процессах, предприятиях (С И Румянцев, А Я Суриков)</b>	11
1 1 Изделие и его составные части	11
1 2 Производственный и технологический процессы	12
1 3 Классификация автомобилестроительных производств и их краткая характеристика	13
1 4 Единая система технологической подготовки производства	15
<b>Глава 2 Технологичность конструкции изделий (А Я Суриков)</b>	16
2 1 Основные понятия и оценка технологичности	16
2 2 Обработка изделия на технологичность	20
<b>Глава 3 Получение заготовок (А Я Суриков)</b>	21
3 1 Технологические методы получения заготовок	21
3 2 Припуски и напуски на обработку	22
3 3 Технико-экономическое обоснование выбора заготовки	25
<b>Глава 4 Точность обработки деталей (А Я Суриков)</b>	25
4 1 Основные понятия	25
4 2 Методы обеспечения точности обработки	26
4 3 Факторы, определяющие точность обработки	27
4 3 1 Неточность станка в ненагруженном состоянии	27
4 3 2 Силовые деформации системы СПИД	27
4 3 3 Погрешность установки	29
4 3 4 Неточность наладки и подналадки	32
4 3 5 Неточность изготовления режущего инструмента и его износ	38
4 3 6 Температурные деформации системы СПИД	38
4 3 7 Неточность детали вследствие перераспределения внутренних напряжений	39
<b>Глава 5 Качество поверхностей деталей (А Я Суриков)</b>	40
5 1 Основные понятия	40
5 2 Формирование качества поверхности технологическими методами	41
<b>Глава 6 Станочные приспособления (А И Сергеев)</b>	44
6 1 Назначение и классификация приспособлений	44
6 2 Конструктивные элементы приспособлений	45
6 2 1 Установочные элементы (опоры)	45
6 2 2 Элементы для установки и ориентирования инструмента	46
6 2 3 Зажимные элементы и механизмы приспособлений	46
6 2 4 Вспомогательные элементы и корпуса	50
6 3 Проектирование приспособлений	50
6 3 1 Стадии проектирования	50
6 3 2 Расчет точности приспособления	52
6 3 3 Экономическая эффективность приспособлений	52
6 3 4 Автоматизированное проектирование приспособлений	53

<b>Глава 7</b>	<b>Проектирование технологических процессов обработки деталей (А Я Суриков)</b>	<b>53</b>
7 1	Классификация технологических процессов и исходная информация для их разработки	53
7 2	Основные этапы и задачи, решаемые при разработке технологических процессов	53
7 2 1	Определение количественных характеристик	54
7 2 2	Оформление технологического кода по классификатору	56
7 2 3	Определение последовательности операций по типовому или групповому процессу	56
7 2 4	Определение рабочих ходов и переходов на каждую поверхность и деталь в целом	57
7 2 5	Определение режимов резания	57
7 2 6	Определение норм времени на обработку	58
7 2 7	Определение технологической себестоимости операции	60
7 2 8	Окончательный выбор СТО	60
7 3	Выбор оптимального варианта технологического процесса и его оформление	62
7 4	Особенности проектирования унифицированных технологических процессов и для станков с ЧПУ	63
<b>Глава 8</b>	<b>Технологический размерный анализ технологического процесса (А Я Суриков)</b>	<b>64</b>
8 1	Технологические допуски и размерные схемы технологического процесса	64
8 2	Методика расчета технологических размерных цепей	68
<b>Глава 9</b>	<b>Технология изготовления типовых деталей и сборочных единиц автомобиля (А Я Суриков—91, 9 2, А Ф Синельников—93)</b>	<b>70</b>
9 1	Блок цилиндров	70
9 2	Коленчатый вал	75
9 3	Рамы и кузовные конструкции	77
9 3 1	Конструктивные и технологические особенности рам и кузовов	77
9 3 2	Изготовление элементов конструкции рам и кузовов, сборка каркаса	79
9 3 3	Окраска рам и кузовов, общая сборка	84
<b>Глава 10</b>	<b>Механизация и автоматизация технологических процессов (К Х Акмаев, В А Тимошкин)</b>	<b>87</b>
10 1	Средства технологического оснащения и показатели механизации и автоматизации технологических процессов	87
10 2	Автоматические линии и промышленные роботы	89
<b>ЧАСТЬ II</b>		
<b>РЕМОНТ АВТОМОБИЛЕЙ И ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ</b>		
<b>Глава 11</b>	<b>Старение автомобилей и их составных частей (Л В Дехтеринский)</b>	<b>94</b>
11 1	Общая характеристика процессов старения	94
11 1 1	Основные понятия	94
11 1 2	Изнашивание	95
11 1 3	Деформация и разрушение	101
11 1 4	Коррозия	103
11 1 5	Эрозия и кавитация	104
11 2	Предельное состояние автомобиля и его составных частей	106
<b>Глава 12</b>	<b>Автомобиль как объект ремонта (Л В Дехтеринский, В П Апсин)</b>	<b>108</b>
12 1	Основные свойства, определяющие качество при ремонте	108
12 2	Основные технологические показатели качества	109
12 3	Свойства, обуславливающие надежность	111
12 4	Ремонтпригодность	114
<b>Глава 13</b>	<b>Связь технологических показателей с показателями надежности (Л В Дехтеринский, В П Апсин)</b>	<b>119</b>
13 1	Общие положения	119
13 2	Определение допустимой погрешности сборочной единицы и деталей	122
<b>Глава 14</b>	<b>Элементы теории восстановления (С Б Норкин)</b>	<b>129</b>
14 1	Сущность теории восстановления Основные термины и определения	129
14 2	Формирование модели старения и восстановления	131

14 3	Моделирование доремонтного цикла	136
14 4	Моделирование межремонтных циклов Число капитальных ремонтов	140
<b>Глава 15</b>	<b>Система ремонта автомобилей и их составных частей. Характеристика технологических процессов ремонта (Л В Тяхтеринский, В И Карагодин)</b>	<b>144</b>
15 1	Общие положения	144
15 2	Стратегия ремонта	145
15 3	Средства ремонта	146
15 4	Схемы технологических процессов капитального ремонта автомобилей и агрегатов	147
15 5	Схема технологического процесса централизованного ремонта по техническому состоянию	149
15 6	Приемка в ремонт и из ремонта	151
<b>Глава 16</b>	<b>Разборочные и очистные процессы (К Х Акмаев, В А Тимошкин—16 1 и 16 2, В М Приходько—16 3 и 16 4)</b>	<b>152</b>
16 1	Основные понятия организация и технология разборочных работ	152
16 2	Средства разборки Механизация и автоматизация разборочных работ	153
16 3	Классификация загрязнений и методы очистки	159
16 4	Моющие средства и очистка сточных вод от загрязнений	164
16 4 1	Моющие средства	164
16 4 2	Методы очистки	166
16 4 3	Удаление накипи	169
16 4 4	Очистка производственных стоков от загрязнений	170
<b>Глава 17</b>	<b>Оценка технического состояния деталей (С И Румянцев)</b>	<b>170</b>
17 1	Сушность процесса дефектации, технические условия	170
17 2	Методы и средства дефектации и определение коэффициентов структурного состава деталей	171
17 2 1	Общие положения	171
17 2 2	Контроль взаимного расположения рабочих поверхностей	172
17 2 3	Контроль скрытых дефектов	174
17 2 4	Контроль размеров и формы рабочих поверхностей деталей	177
17 2 5	Коэффициенты структурного состава ремонтного фонда	178
<b>Глава 18</b>	<b>Способы ремонта деталей (С И Румянцев—18 1, 18 3 187, Р Е Есенберлин—18 2, А Г Теплов—18 4, 18 5, 18 6)</b>	<b>178</b>
18 1	Пластическое деформирование	178
18 2	Сварка и наплавка	182
18 3	Газотермическое напыление	189
18 4	Нанесение гальванических и химических покрытий	197
18 4 1	Основные сведения о процессе гальванического осаждения (электролиза) металлов	197
18 4 2	Технологический процесс нанесения покрытия	200
18 4 3	Хромирование	203
18 4 4	Железнение	206
18 5	Нанесение защитно декоративных покрытий	204
18 6	Применение синтетических материалов	206
18 7	Механическая обработка при ремонте деталей	208
<b>Глава 19</b>	<b>Технологические процессы ремонта типовых деталей (А Г Теплов, Ю Л Штоль)</b>	<b>211</b>
19 1	Ремонт корпусных деталей	211
19 2	Ремонт деталей класса «круглые стержни»	213
19 3	Ремонт деталей класса «полые стержни»	215
<b>Глава 20</b>	<b>Технологические процессы ремонта рам, кузовов и кабин (А Ф Синельников)</b>	<b>218</b>
20 1	Ремонт рам	218
20 2	Ремонт кузовов и кабин	219
<b>Глава 21</b>	<b>Проектирование технологических процессов ремонта деталей (М В Капырин)</b>	<b>228</b>
21 1	Общие сведения	228
21 2	Формирование технологических маршрутов	237

<b>Глава 22 Основы технологии комплекточных и сборочных процессов (Л В Дехтеринский—22 1, А И Сергеев—222—22 6, В И Карагодин— 22 7)</b>	<b>240</b>
22 1 Методы обеспечения точности сборки и ремонтные размерные цепи	240
22 2 Комплектование изделий	248
22 3 Виды соединений и технология их сборки Виды сборки	249
22 4 Механизация и автоматизация процессов сборки	254
22 5 Балансировка деталей, узлов, агрегатов	258
22 6 Организационные формы сборочных процессов	261
22 7 Разработка технологических процессов сборки и разборки изделий	262
22 7 1 Подготовка исходных данных	262
22 7 2 Формирование маршрутов централизованного ремонта агрегатов по состоянию и расстановка контрольных операций	264
22 7 3 Формирование технологических операций поточной сборки (разборки) изделий	267
22 7 4 Составление схем сборки и разборки	270
<b>Глава 23 Испытания отремонтированных деталей и агрегатов (С А Скрипников)</b>	<b>271</b>
23 1 Общие сведения	271
23 2 Испытания отремонтированных деталей	273
23 3 Испытания отремонтированных агрегатов	275
<b>Глава 24 Качество ремонта автомобилей (С К Лосавио)</b>	<b>280</b>
24 1 Общие сведения	280
24 2 Оценка качества ремонта автомобилей и их составных частей	282
24 3 Исследование и прогнозирование качества отремонтированных изделий	283
24 4 Исследование качества автомобилей и их агрегатов при ремонте	289
Список литературы	292
Предметный указатель	293

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемый вниманию читателей учебник «Ремонт автомобилей» предназначен для подготовки инженеров автомобильно-дорожными и политехническими вузами по специальности 1505 «Автомобили и автомобильное хозяйство». Учебник раскрывает основное содержание учебной дисциплины «Основы технологии производства и ремонта автомобилей» применительно к указанной специальности и призван отразить современное состояние и перспективы развития ремонтного производства.

Название учебника отличается от наименования основной учебной дисциплины. Это отличие вызвано тем, что при подготовке специалистов изучаются и другие предметы, посвященные современным вопросам ремонтного производства, а также нашедшие отражение в данном учебнике. В основном это касается ремонта автомобилей.

Назначение учебной дисциплины «Основы технологии производства и ремонта автомобилей» заключается в формировании у будущих специалистов системы обобщенных и конкретных знаний, позволяющих творчески и научно обоснованно решать задачи ремонта подвижного состава, обеспечивая конкурентоспособный уровень качества и минимум затрат ресурсов на его достижение.

Создавая учебник, авторы — сотрудники кафедр производства и ремонта автомобилей и дорожных машин МАДИ — ставили перед собой следующие задачи:

ознакомить учащихся с основами технологии автомобилестроения, с сущностью старения автомобилей и с некоторыми положениями теории

восстановления, с системой ремонта автомобилей, с основными технологическими и организационными задачами оптимизации в области ремонта, методами их решения, с технологическими процессами основных ремонтных работ при ремонте агрегатов, узлов, типовых деталей и методом их проектирования;

раскрыть источники эффективности ремонта и определить главные направления ее обеспечения;

сформировать у будущих инженеров позицию и представления об условиях наибольшего благоприятствования развитию ремонта автомобилей в современном производстве.

При изложении материала широко использовались государственные стандарты, методические рекомендации, а также научные труды профессоров В. В. Ефремова, К. Т. Кошкина, В. А. Шадричева, В. А. Масино, М. П. Мелкова, Е. С. Кузнецова, А. Ф. Дергачева, И. Е. Дюмина, А. М. Шейнина, В. Г. Дажина, В. А. Наливкина и других. При написании учебника были использованы также теоретические положения, разработанные советскими учеными: акад. Н. Г. Бруевичем, профессорами Н. А. Бородачевым, Б. С. Балакшиным, К. М. Великановым, И. Б. Гурвичем, В. С. Корсаковым, И. В. Крагельским, С. П. Митрофановым, А. С. Прониковым и многими другими. Кроме того, в учебнике содержатся разработки, выполненные авторами и другими научными коллективами при участии авторов, а также передовой опыт ремонта.

Д-р техн. наук  
Л. В. ДЕХТЕРИНСКИЙ

## ВВЕДЕНИЕ

Авторемонтное производство в промышленном потенциале нашей страны всегда занимало значительное место. Практически была создана авторемонтная промышленность. В настоящее время действует более тысячи специализированных ремонтных заводов и свыше тридцати тысяч мастерских, которые капитально ремонтируют агрегаты, детали массовых автомобилей, производят централизованно капитальный ремонт автомобилей большой грузоподъемности и автобусов. Примерно пятая часть металла, расходуемого на изготовление деталей автомобилей, идет на производство именно запасных частей.

Новый этап в развитии ремонта автомобилей начался с появления в составе автомобилестроительных производственных объединений, производственных фирм (ПФ) по техническому обслуживанию, ремонту выпускаемой продукции и продаже запасных частей. Одна из них ПФ «КамАЗАвтоцентр», в которую входят четыре ремонтных завода по ремонту двигателей и других агрегатов автомобилей КамАЗ и 183 автоцентра, из которых 12 выполняют техническое обслуживание, текущий ремонт и обеспечивают снабжение запасными частями. Кроме того, заканчивается строительство еще 12 таких же автоцентров. Производственное объединение (ПО) «АвтоЗИЛ» в своем составе имеет один ремонтный завод по ремонту двигателей и 15 автоцентров. ПО «Автодизель» имеет ремонтный завод по ремонту дизельных двигателей и завод по ремонту топливной аппаратуры.

ПО «АвтоВАЗ» имеет свой центр обслуживания, который объединяет несколько десятков региональных автоцентров, расположенных в крупных городах и выполняющих техническое обслуживание,

ремонт автомобилей, восстановление некоторых дефицитных деталей.

Крупные АТП имеют, как правило, свою собственную производственную базу для проведения технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей. В последние годы с целью концентрации ремонтных работ начали создаваться региональные специализированные мастерские по ремонту автомобилей автотранспортных предприятий одного ведомства в данной местности, которые выполняют ремонт на готовых агрегатах.

Ежегодно в стране капитально ремонтируется свыше 1,5 млн. двигателей и около 1 млн. комплектов агрегатов, главным образом грузовых автомобилей и автобусов.

Сформулировать целевое назначение ремонта автомобилей в народном хозяйстве можно следующим образом: обеспечить поддержание автомобилей в работоспособном состоянии, снизить темпы выбытия эффективной техники из сферы потребления и удовлетворить при необходимости потребителей в технике за счет частичного воспроизводства ее методами ремонта.

Однако существующий технический уровень ремонтного производства сдерживает развитие автотранспорта из-за низкого качества ремонта и, как следствие, относительно больших затрат на последующую эксплуатацию отремонтированных автомобилей (агрегатов) по сравнению с аналогичными затратами до-ремонтного периода.

Вследствие специфики, присущей вторичному производству, ремонт автомобилей начинается с некоторым запаздыванием во времени по отношению к началу их постановки на производство. Затем наступает период постепенного ежегодного наращивания мощностей по ремонту автомобилей (агрегатов, деталей) от



достигнутого уровня в предшествующем году, а потребность в ремонтах в этот период начинает сокращаться из-за систематического повышения качества (надежности) автомобилей, выпускаемых автозаводами. Если графически изобразить динамику изменений потребности в • ремонтах и развитие ремонтных мощностей с начала производства, то можно наглядно обнаружить появление двух периодов дефицита (рис. Вв. 1). Начальный период дефицита (I) образуется из-за нехватки мощностей по ремонту, а второй период (II) связан с дефицитом ремонтного фонда. Как первый, так и второй период не стимулирует производственные коллективы ремонтных заводов улучшать качество ремонтируемых изделий, особенно это относится ко второму периоду. Действительно, если улучшить качество ремонта, то количество возможного поступления на завод ремфонда еще больше сократится и будет острее ощущаться его дефицит, возникнут дополнительные трудности с выполнением производственного плана по ремонту. В первый же период низкое качество связано с большой перегрузкой. На рис. Вв. 2 приведена динамика сложившегося на практике директивного изменения норматива трудоемкости ремонта изделия, не учитывающая, обеспечивается ли это соответствующим ростом производительности труда. Ежегодные такие сокращения трудоемкости ремонта привели к тому, что уменьшилось число ремонтируемых деталей и технологических операций, формирующих качество ремонта изделия и необоснованно увеличилось в составе отремонтированного изделия число деталей, используемых повторно без ремонта, но не удовлетворяющих на самом деле техническим условиям на ремонт.

В результате действия этих процессов качество ремонта изделий длительное время практически не улучшалось. Однако рассмотренные

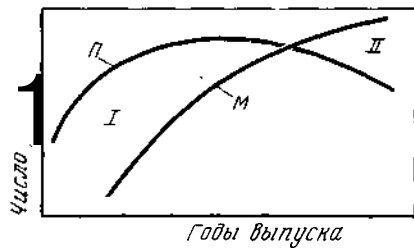


Рис. Вв.1. Ежегодная потребность (Я) в ремонтах изделий и изменение производственной мощности (М) ремонтных заводов по годам производства одной модели автомобиля

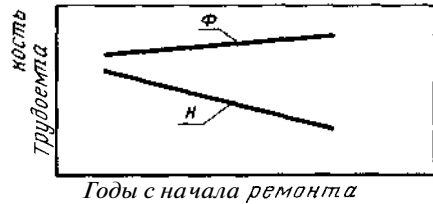


Рис. Вв.2. Изменение по годам норматива трудозатрат (Я) в зависимости от начала ремонта изделий и изменение фактической трудоемкости (Ф) ремонта изделия из-за старения ремонтного фонда

процессы — это только часть того, что сдерживает рост качества ремонта. Но и из этого видно, что подходить к анализу сдерживающих причин для улучшения качества ремонтируемых изделий необходимо комплексно, учитывая и технологические и социально-экономические факторы.

Уровень качества ремонта агрегатов автомобиля можно оценить сравнением доремонтной и межремонтной наработки (табл. Вв. 1).

Если обратиться к отчетным данным ремонтных заводов по ремонту агрегатов автомобилей, то нетрудно убедиться в их высокой рентабельности, достигающей от 25 до 55 %. Однако этот высокий экономический эффект в условиях ремонтного производства быстро растрачивается в эксплуатации на поддержание в работоспособном состоянии отремонтированных с низким уровнем качества автомобилей и их состав-

Таблица Вв 1 Средняя наработка агрегатов автомобиля

Изделия	Нарботка, тыс км		
	доре-монт-ная	меж-ре-монт-ная после ре-мон-та на ЗРД	меж-ре-монт-ная после ре-мон-та на авто-ре-монт-ном пред-прия-тии
Двигатель КамАЗ-740	220	130	70
Коробка передач автомо-биля ЗИЛ-130	120	—	50
Задний мост автомобиля ЗИЛ-130	200	—	60

ных частей и прежде всего за счет повышенного в 1,5—2 раза расхода запасных частей. В результате такого ремонта народное хозяйство терпит убытки, а ремонт автомобилей превращается из потенциально эффективной сферы деятельности в неэффективную.

Для того чтобы исключить эти нежелательные экономические последствия от эксплуатации отремонтированных изделий, необходимо руководствоваться концепцией эффективного ремонта и стратегией его реализации. В соответствии с новой концепцией и стратегией ремонта и следует осуществлять перестройку ремонтного производства. Концепция эффективного ремонта формируется на идеях и принципах, которые порождаются интеграционными процессами ремонтного производства с заводами-изготовителями новой техники и с автоцентрами, выполняющими услуги потребителям соответствующей техники.

Эффективность ремонта также определяется выбором оптимальной стратегии ремонта, выбором оптимальных решений в области технологии, организации, управления, экологии, социологии и экономики ремонта. В условиях перестройки экономики, чтобы эффективно уп-

равлять столь большой сферой деятельности, как авторемонтное производство, необходимо опираться на современные научные знания и иметь хорошо организованную инженерную службу, в которой должны работать инженеры, имеющие специальное образование и в совершенстве владеющие как теорией, так и навыками организации ремонта автомобилей, способные осуществлять научно-технический прогресс.

Необходимость систематизации знаний о ремонте автомобилей возникла еще до того, как у нас в стране началось их массовое производство. Причиной тому было создание заводов по ремонту ввозимых из-за границы автомобилей и большого количества мастерских. Уже в 30-х годах под руководством проф. В. В. Ефремова группой сотрудников МАДИ совместно с работниками НИИАТа впервые были проведены исследования, в результате которых была разработана плано-предупредительная система технического обслуживания и ремонта автомобилей. Выполненными исследованиями также было установлено, чтобы реализовать ресурс автомобилей, запланированный конструктором, необходимо создать специализированные предприятия или подразделения в соответствующих автотранспортных предприятиях (АТП), задачей которых являлось бы поддержание автомобилей в работоспособном состоянии.

В конце 50-х годов проф. К. Т. Кошкин обобщил опыт ремонта и разработал научные основы технологических процессов ремонта деталей, которые получили в последующие годы дальнейшее развитие в трудах многочисленных исследователей. В 70-х и 80-х годах особенно большое внимание уделялось совершенствованию организации и технологии ремонтного производства. В последние годы в различных регионах страны сложились научные школы, которые вносят существенный вклад в формирование теории и практики ремонтного производства.

Глава 1

ПОНЯТИЕ ОБ ИЗДЕЛИИ, ПРОИЗВОДСТВЕННОМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССАХ, ПРЕДПРИЯТИЯХ

1.1. ИЗДЕЛИЕ И ЕГО СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ

При изучении технологии производства и ремонта автомобилей широкое применение нашли такие термины, как изделие, комплектующее изделие, составная часть изделия, сборочная единица, агрегат, узел, деталь и некоторые другие.

*Изделием* называется единица промышленной продукции конечной стадии данного производства. В зависимости от назначения производства к изделиям относятся новый или отремонтированный автомобиль, агрегат, узел, комплект деталей, деталь.

*Комплектующее изделие* — это изделие предприятия-поставщика, которое применяется как составная часть изделия, выпускаемого данным предприятием. Так, например, для заводов, выпускающих автомобили,

комплектующими изделиями могут быть: двигатели, карбюраторы, приборы электрооборудования, резинотехнические изделия, подшипники качения, детали, шины и пр., для авторемонтного завода — то же и, кроме того, запасные части, ремонтные комплекты и др.

*Составная часть изделия* — это сборочная единица (агрегат, узел) или деталь. Составные части подразделяются по *ступеням вхождения*. Принято считать, что изделие соответствует нулевой ступени вхождения. Составные части, непосредственно входящие в изделие, относятся к 1-й ступени вхождения, а составные части, входящие в составные части 1-й ступени, относятся к составным частям 2-й и т. д. (рис. 1.1). Самыми низшими ступенями вхождения являются детали,

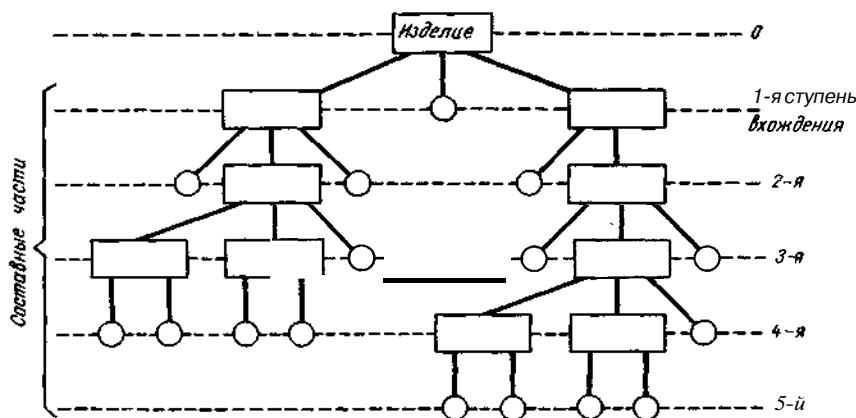


Рис. 1.1. Структурная схема изделия: прямоугольниками обозначены сборочные единицы, окружностями — детали

с которых начинается процесс сборки составных частей.

*Сборочной единицей* называется изделие, составные части которого соединены между собой с помощью сборочных операций: свинчиванием, запрессовкой, клепкой, пайкой, сваркой и т. п. К сборочным единицам, например, относятся рама автомобиля, его кузов, агрегаты (коробка передач, двигатель, задний мост).

*Агрегатом* называется часть изделия, состоящая из узлов и деталей, которая может быть собрана отдельно и способна выполнять свои функции как в изделии, так и самостоятельно. К агрегатам автомобиля относятся двигатель, коробка передач, задний мост, передний мост, рулевое управление и др.

*Узел* — это часть изделия, состоящая из двух и более деталей, которая может быть собрана отдельно и способная выполнять свои функции только совместно с другими частями изделия. В таком изделии, как двигатель, узлами являются: блок цилиндров с крышками коленчатого вала в сборе, головка цилиндров с седлами клапанов в сборе, шатун в сборе, коленчатый вал с пробками в сборе и др.

*Деталь* — это изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций, например, гильза цилиндра, клапан, гайка.

*Комплект* — два и более изделия, несоединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей, комплект регулировочных прокладок.

*Комплекс* — два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, например поточная линия станков,

промышленный робот с отдельной системой управления.

Разделение изделия на составные части производится по технологическому признаку, однако существует и другое деление — по функциональному признаку. Так, например, в таком изделии, как двигатель автомобиля, различают следующие функциональные составные части: смазочная система, система охлаждения, кривошипно-шатунный механизм, механизм газораспределения и др.

## **1.2. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ**

*Производственным процессом* называется совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта изделий. В производственный процесс входят не только основные процессы, связанные с преобразованием исходных материалов для получения автомобилей и их составных частей, но и вспомогательные, например изготовление инструмента и приспособлений, ремонт оборудования, а также обслуживающие процессы (внутризаводская транспортировка материалов и деталей, складские операции, контроль и др.), обеспечивающие возможность изготовления изделий.

*Технологическим процессом* называется часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства. На автомобильном предприятии применяется множество разнообразных технологических процессов: литье, обработка давлением, механическая обработка резанием, термическая обработка, сборка, окраска и др.

Технологический процесс состоит из операций. *Технологической операцией* называется законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Операция является основной расчетной единицей при техническом нормировании процесса, при проектировании производственных участков, при определении себестоимости технологического процесса.

При выполнении операции деталь очень часто приходится устанавливать и закреплять несколько раз, т. е. выполнять несколько установов. *Установ* — это часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой детали (заготовки) или собираемой сборочной единицы.

Обрабатываемая деталь или сборочная единица, закрепленные в приспособлении, могут занимать несколько последовательных положений относительно инструмента, т. е. позиций. *Позицией* называется фиксированное положение, занимаемое обрабатываемой деталью или собираемым изделием вместе с подвижной частью приспособления относительно инструмента или станка при выполнении операции.

Технологическая операция состоит из переходов. Так, например, при обработке точного отверстия его последовательно подвергают сверлению, зенкерованию и развертыванию.

Каждый из перечисленных видов обработки является частью сверлильной операции и представляет собой технологические переходы. *Технологический переход* — это законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

Каждый технологический переход состоит из одного или нескольких рабочих ходов. *Рабочий ход* — это законченная часть перехода, представляющая собой однократное перемещение инструмента относительно обрабатываемой детали, сопровождаемое изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств материала детали.

Кроме технологических переходов, каждая операция включает в себя вспомогательные переходы. *Вспомогательным переходом* называется законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека или оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей, но необходимы для выполнения технологического перехода. К вспомогательным переходам относятся установка и снятие детали со станка, замена инструмента и т. п.

Технологический переход, кроме рабочего хода, может иметь вспомогательный ход. *Вспомогательный ход* — это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки (детали), которая не сопровождается изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств детали, но необходима для выполнения рабочего хода.

### **1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЕСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ И ИХ КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

Производство классифицируется по виду и типу производств. *Вид производств* — классификационная категория производства, определяемая по признаку применяемого метода изготовления, например литейное, сварочное, термическое. *Тип производств* — классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции. Различают такие типы производств: единичное, серийное и массовое. Оцениваются они с помощью коэффициента закрепления операции (КЗО), который представляет собой отношение числа всех различных технологических операций, выполняемых или подлежащих выполнению в течение месяца в цеху (отделении), к числу рабочих мест.

*Еди́чное произво́дство* характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, в будущем не предусматриваются.

*Серийное производство* отличается изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. Различают мелкосерийное ( $KZO = 20 \dots 40$ ), среднесерийное ( $KZO = 10 \dots 20$ ) и крупносерийное ( $KZO < 10$ ) производства.

*Массовое производство* характеризуется большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция ( $KZO = 1$ ). По типу производства автомобильные заводы относятся в основном к массовому производству, хотя одновременно с массовым производством на них существуют и серийное и единичное производства. Так, инструментальное производство, имеющееся на каждом заводе, сочетает в себе серийное и единичное производства.

При массовом типе производства в основном применяется *поточное* производство, при серийном — *групповое*. В массовом производстве применяются единичные и типовые технологические процессы, в серийном — групповые и единичные.

При применении в механообработке единичных и типовых технологических процессов производство организуется подетально (поагрегатно): цех заднего моста, цех коробки передач и т. п. При групповых технологических процессах в основе организации лежит подетально-групповая классификация, т. е. подетально-групповые цехи, подетально-групповые участки. В серийном и единичном производствах при использовании единичных технологических процессов организация участков осуществляется по принципу однородности оборудования (участок токар-

ных станков, участок фрезерных станков и т. п.).

Технологические процессы массового производства характеризуются высокой степенью механизации и автоматизации. Широко применяются мало- и безотходные технологии. Заготовки для механической обработки резанием имеют обычно форму, максимально приближенную к форме готовой детали. В качестве оборудования широко применяются станки-автоматы с жесткими программносителями, собранные по принципу агрегатирования. В случае изменения конструкции выпускаемой детали большинство базовых узлов станков обрабатывающего комплекса может быть использовано заново.

В последнее время в обрабатывающих комплексах все чаще стали применять станки с мягким программносителем (станки с ЧПУ). Переналадка станка с мягким программносителем на выпуск новой продукции занимает несравнимо меньшее время, чем с жестким. Но относительно большая стоимость станков с ЧПУ и, самое главное, более низкая надежность сдерживает их применение в массовом производстве. В обрабатывающих комплексах широко применяется принцип резервирования, позволяющий в случае отказа одного станка не останавливать работу всего комплекса.

Контроль продукции осуществляется с помощью встроенных автоматических устройств. Одновременно со сплошным контролем широко применяются различные методы статистического контроля для проверки качества заготовки, готовой детали и комплектующих изделий.

Общая сборка автомобиля осуществляется на конвейере с высокой степенью механизации. Сборочные конвейеры узлов и агрегатов имеют наряду с механизированными постами полуавтоматические и автоматические посты.

#### 1.4. ЕДИНАЯ СИСТЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП) — установленная государственными стандартами система организации и управления процессами технологической подготовки производства, т. е. комплекс работ, дающих возможность приступить к изготовлению нового изделия в заданных объемах и заданного качества.

Основное назначение ЕСТПП заключается в установлении системы организации и управления технологической подготовки производства (ТПП), которая в первую очередь характеризуется единым для всех предприятий системным подходом к ТПП, а также обеспечивает освоение производства и выпуск изделий высшей категории качества в минимальные сроки, при минимальных трудовых и материальных затратах. Организация производства должна обладать высокой гибкостью, допускать возможность непрерывного его совершенствования и быстрой переналадки на выпуск новых изделий.

Разрабатываемая документация ТПП должна учитывать требования государственных стандартов, в частности ЕСКД и ЕСТД.

ТПП должна начинаться с получения исходных документов на разработку и производство новых изделий, организацию нового или совершенствование действующего производства. Разработка ТПП должна основываться на применении современных методов организации и управления (системно-структурный анализ и моделирование процесса, экономико-математические методы). С целью сокращения трудоемкости ТПП рекомендуется широко применять автоматизированную систему (АСТПП).

ТПП включает в себя следующие комплексы работ: обеспечение технологичности конструкции изделия; разработка технологических процессов; проектирование и изго-

товление средств технологического оснащения (СТО); организация и управление процессом ТПП.

При выполнении этих комплексов работ на уровне предприятия будут решаться следующие задачи.

В комплексе *обеспечение технологичности конструкции изделия*: проведение технологического контроля конструкторской документации; оценка уровня технологичности конструкции изделия; отработка конструкции изделия на технологичность; внесение необходимых изменений в конструкцию изделия и в документацию; сокращение объема работ по ТПП за счет обеспечения высокого уровня технологичности конструкции изделия и применения совершенных методов и средств выполнения соответствующих инженерно-технических работ.

В комплексе *разработка технологических процессов*: разработка, стандартизация и применение типовых технологических процессов, технологических процессов с применением методов групповой обработки, единичных технологических процессов и технологических операций на детали и сборочные единицы; организация заводских фондов документации на соответствующие технологические процессы и операции.

В комплексе *проектирование и изготовление СТО*: проведение унификации и стандартизации СТО; организация применения СТО, в том числе унифицированных и стандартных средств с использованием общесоюзных и отраслевых баз проката этих средств; проектирование и изготовление специальных СТО.

В комплексе *организация управления процессом ТПП*: перспективное, годовое и текущее планирование развития и совершенствования ТПП с использованием современных методов решения задач ТПП (применение средств механизации и автоматизации инженерно-технических и управленческих работ); организация и совершенствование структуры служб ТПП.

Специфические требования к ТПП, связанные с особенностью производств, устанавливаются отраслевыми стандартами.

Наиболее трудоемкой частью ЕСТПП является этап проектирования технологических процессов, причем его трудоемкость возрастает с увеличением серийности производства. Рост трудоемкости проектирования технологических процессов с

увеличением серийности производства объясняется тем, что при массовом и крупносерийном производстве разработка технологических процессов проводится более тщательно, усложняется оснастка, подробнее разрабатывается документация. Трудоемкость проектирования технологических процессов и оснастки превосходит по трудоемкости конструирование машин в 2...5 раз.

## Глава 2

### ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ

#### 2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Конструкцию изделия называют технологичной, если в принятых конструктивных решениях учтены требования обеспечения минимальных затрат труда и средств на его проектирование, изготовление, техническое обслуживание и ремонт при заданном качестве и принятых условиях изготовления, технического обслуживания и ремонта.

Как видно из определения, понятие технологичность конструкции изделия (ТКИ) — относительное. Конструкция может быть технологична при изготовлении и нетехнологична при эксплуатации или ремонте и наоборот. Требования к технологичности конструкции зависят от области проявления технологичности, т. е. в производстве или эксплуатации. В свою очередь требования в этих областях также могут меняться в зависимости от этапа проявления. Так, при производстве требования к технологичности могут меняться при переходе с этапа конструкторской подготовки производства (КПП), технологической подготовки производства (ТПП) к изготовлению. При эксплуатации требования к технологичности конструкции могут не совпадать на этапах технического обслуживания и ремонта. В свою очередь требования к технологичности зависят от целого ряда факторов, глав-

ными из которых являются вид изделия (деталь, сборочная единица, комплекс, комплект), объем выпуска и тип производства. Поясним вышесказанное на примерах.

**Пример первый.** При КПП конструктор стремится, чтобы его изделие выполняло требуемые функции, было надежным и имело хороший эстетический вид. При ТПП технолог анализирует изделие с позиций возможности его изготовления на данном предприятии с минимальными затратами. Часто требования конструктора и технолога не совпадают, тогда они совместно находят компромиссный вариант. Без разрешения конструктора изменение конструкции невозможно.

**Пример второй.** Требования технологичности с позиций ремонта требует иногда усложнения конструкции изделия, что ведет к ухудшению технологичности при изготовлении. Например, конструкция корпусной детали, имеющая сменные втулки под подшипники скольжения, технологична с позиций ремонта, но нетехнологична при изготовлении, так как ведет к увеличению трудоемкости изготовления изделия.

**Пример третий.** В массовом производстве при обработке заготовок на автоматах и полуавтоматах очень важно, чтобы измерительная база совпадала с технологической, что зависит как от схемы закрепления заготовки в приспособлении, так и от схемы простановки размеров на детали конструктором. Если это условие не выполняется, то необходимо производить пересчет размеров и ужесточение допусков. В единичном и малосерийном производстве, где обработка производится на универсальных станках с помощью метода пробных проходов и промеров, требование совпадения баз абсолютно неважно.

Технологичность конструкции изделия может оцениваться количественно и качественно. *Количественно*



Таблица 21 Рекомендуемый перечень показателей технологичности конструкции по видам изделий

Показатель	Деталь	Сборочная единица	Комплекс	Комплект
Трудоемкость изготовления изделия	+	+	+	+
Удельная материалоемкость изделия (удельная металлоемкость, удельная энергоемкость и пр.)	—	+	+	—
Технологическая себестоимость изделия	+	+	+	+
Средняя оперативная трудоемкость технического обслуживания (ремонта) данного вида	0	+	+	—
Средняя оперативная стоимость технического обслуживания (ремонта) данного вида	0	+	+	—
Средняя оперативная продолжительность технического обслуживания (ремонта) данного вида	0	0	0	0
Удельная трудоемкость изготовления изделия	—	+	+	—
Трудоемкость монтажа	—	+	+	—
Коэффициент применяемости материала	—	+	0	0
Коэффициент унификации конструктивных элементов	+	0	0	0
Коэффициент сборности	—	+	+	—

Условные обозначения: знак «+» означает, что обязательно определение значения показателя точными методами; знак «0» означает, что в общем случае необязательно определение показателя, знак «—» означает, что этот показатель не определяется.

ная оценка технологичности основана на расчетных методах и проводится по конструктивно-технологическим признакам. Необходимость количественной оценки технологичности конструкции изделия, а также номенклатура показателей и методика их определения устанавливаются в зависимости от вида изделия, типа производства и стадии разработки конструкторской документации отраслевыми стандартами или стандартами предприятий. Наибольшее распространение получили следующие количественные оценки:

абсолютный показатель технологичности  $K = K_1 \dots K_n$ ;

сравнительный показатель (уровня) технологичности  $K_y = K/K_6$ ;

разностный показатель технологичности  $\Delta K' = K - K_6$ ;  $\Delta K'' = 1 - K_y$ .

В этих выражениях  $K$  — показатель ТКИ, т. е. себестоимость, трудоемкость и т. п.;  $K_6$  — базовый показатель технологичности.

Качественная оценка ТКИ, как правило, предшествует количественной оценке, но может совмещаться с количественной на всех стадиях проектирования. Качественная оцен-

ка одного конструктивного исполнения изделия ведется по альтернативному методу («хорошо—плохо», «допустимо—недопустимо»). При сравнении вариантов конструктивных исполнений изделия качественная оценка («лучше—хуже» и т. п.) может позволить выбрать лучший вариант исполнения или установить целесообразность затрат времени на определение численных значений показателей ТКИ.

Показатели ТКИ классифицируются по видам в зависимости от исходного признака классификации: по области проявления—на производственные и эксплуатационные; по области анализа—на технические и технико-экономические; по системе оценок—на базовые, разрабатываемой конструкции и уровень технологичности; по значимости—на основные и дополнительные; по количеству характеризующих признаков—на частные и комплексные; по способу выражения—на абсолютные и относительные. Среди большого многообразия показателей ТКИ рекомендуется следующий перечень показателей (табл. 2.1).

*Трудоемкость изготовления изделия T* может определяться как общая трудоемкость изделия, т. е. сумма трудоемкостей по каждому цеху, участку или виду работ.

*Удельная материалоемкость (энергоемкость) изделия*

$$K_{yи} = M/P,$$

где  $M$  — масса изделия или количество энергии, затрачиваемой на производство изделия, например электроэнергии, топлива и т. п.;  $P$  — номинальный показатель основного параметра изделия или полезный эффект от его использования (мощность, скорость, производительность и т. п.).

*Технологическая себестоимость*

$$C_T = C_M + C_3 + C_{нр},$$

где  $C_M$  — затраты на материалы;  $C_3$  — заработная плата основных рабочих с начислениями;  $C_{нр}$  — накладные расходы, включающие расходы на электроэнергию, амортизацию оборудования, инструмента, здания, на содержание руководящего и обслуживающего персонала и т. п.

*Удельная трудоемкость изготовления изделия  $T_v = T/P$ .*

*Коэффициент применяемости материала*

$$K_{пм} = \Sigma M_i / M,$$

где  $\Sigma M_i$  — общая масса  $i$ -го материала в изделии.

*Коэффициент унификации конструктивных элементов*

$$K_{yэ} = Q_y / Q_э,$$

где  $Q_y$  — число унифицированных типов-размеров конструктивных элементов;  $Q_э$  — число типов-размеров конструктивных элементов.

*Коэффициент сборности*

$$K_{сб} = E / (E + D),$$

где  $E$  — число сборочных единиц в изделии;  $D$  — число деталей, являющихся составными частями изделия.

При наличии перспективного образца его показатели принимаются за базовые. Если его нет, базовые показатели рассчитываются на основе существующего аналога. Существует достаточно много различных методов расчета базовых показателей, но наиболее распространенными среди

них являются следующие: метод прямых аналогий, метод корреляционных зависимостей и многофакторный метод (метод корректирующих коэффициентов).

По *методу прямых аналогий* вычисление базового показателя производится непосредственно по значению показателя аналога. Этот метод является частным случаем многофакторного метода.

*Пример.* Определить значение базового показателя себестоимости  $C_6$  проектируемого автомобиля грузоподъемностью 8 т.

Показатели аналога: себестоимость 1000 руб., грузоподъемность 4 т. Тогда  $C_6 = 1000 \cdot 8:4 = 2000$  руб.

*Метод корреляционных зависимостей* дает хорошие результаты, когда на основе статистических данных установлены корреляционные связи между техническими характеристиками автомобиля и показателями технологичности. В общем случае базовый показатель

$$K_6 = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_n^{a_n}, \quad (2.1)$$

или

$$K_6 = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n, \quad (2.2)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_n$  — коэффициенты влияния, выявленные в результате обработки статистических данных;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — технические показатели (мощность, грузоподъемность и т. п.).

*Многофакторный метод* позволяет учитывать влияние различных факторов на значение показателя технологичности. Число факторов варьируется в зависимости от видов показателя, конкретных условий производства и эксплуатации. В общем случае

$$K_6 = K_a \prod_{j=1}^n K_j, \quad (2.3)$$

где  $K_a$  — технологический показатель аналога;  $K_j$  —  $j$ -й корректирующий коэффициент, учитывающий влияние конкретных условий на значение показателя технологичности.

К корректирующим коэффициентам можно отнести: коэффициент, учитывающий сложность проектируемого изделия; коэффициент, учитывающий снижение трудоемкости

изготовления изделия; коэффициент, учитывающий программу выпуска изделий; коэффициент, учитывающий продолжительность выпуска изделий.

Считается, что сложность проектируемого изделия приводит к изменению показателя технологичности, причем сложность конструкции оценивается через косвенные показатели: массу или мощность изделия, количество оригинальных деталей, коэффициент удельной материалоемкости и т. п.

В общем случае коэффициент сложности

$$K_{сл} = \alpha(K_6/K_a)^\beta \text{ при } K_6 > K_a, \quad (2.4)$$

или

$$K_{сл} = \alpha(K_a/K_6)^\beta \text{ при } K_a > K_6, \quad (2.5)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$  — экспериментальные коэффициенты.

Снижение трудоемкости изделия учитывается коэффициентом снижения трудоемкости

$$K_{с\tau} = \left( \frac{100}{100 + K_{п\tau}} \right)^t, \quad (2.6)$$

где  $K_{п\tau}$  — планируемый рост производительности труда;  $t$  — период времени от начала проектирования до запуска изделия в производство в годах.

Учет программы выпуска изделий учитывается коэффициентом

$$K_N = (N_6/N_a)^\gamma, \quad (2.7)$$

где  $N_6$ ,  $N_a$  — соответственно программы выпуска базового и существующего изделия;  $\gamma$  — показатель степени (для автомобилестроения можно принять 0,6).

Учет продолжительности выпуска изделий применяется, когда необходимо определить значение показателя технологичности через  $n$  лет его выпуска. Коэффициент

$$K_{n\beta} = (t_{n\beta}/t_{n\alpha})^\beta,$$

где  $t_{n\beta}$ ,  $t_{n\alpha}$  — число лет выпуска соответственно проектируемого изделия и существующего;  $\beta$  — показатель степени (для автомобиля можно принять 0,3).

Пример. Определить базовый показатель трудоемкости для проектируемого авто-

мобиля на 1-й год выпуска. Данные выпускаемого автомобиля (аналога для проектирования): трудоемкость изготовления  $T_a = 10\,000$  нормо-ч; коэффициент удельной материалоемкости  $K_{у.м} = 40$  кг/кВт; программа выпуска  $N_a = 100\,000$  шт. Данные проектируемого автомобиля: масса  $M \leq 1360$  кг; мощность  $N \geq 55$  кВт; планируемый рост производительности труда  $K_{п\tau} = 10\%$ ; срок проектирования  $t = 3$  года; программа выпуска  $N_6 = 100\,000$ .

Определим коэффициент удельной материалоемкости проектируемого изделия:  $K_{у.м} = 1360/55 \approx 25$  кг/кВт. По формуле (2.4) определим коэффициент сложности изделия, причем примем  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 0,75$ :  $K_{сл} = (40/25)^{0,75} = 1,43$ . По формуле (2.6) определим коэффициент снижения трудоем-

кости  $K_{с\tau} = \left( \frac{100}{100 + 10} \right)^3 = 0,79$  учетом

формулы (2.3) определим трудоемкость базового автомобиля  $T_6 = T_a K_{сл} K_{с\tau} = 10\,000 \times 1,43 \cdot 0,79 = 11\,300$  нормо-ч.

Часто при оценке двух или более изделий на технологичность сталкиваются с ситуацией, когда одно изделие имеет лучшие технологические показатели по одним частным показателям, другие — по другим. В этом случае отдать приоритет какому-либо изделию затруднительно. Аналогичное положение возникает, когда мы хотим в целом оценить технологичность конструкции. Выходом при этом является определение комплексного показателя технологичности. Комплексные показатели могут быть разных уровней, т. е. определять различное число частных показателей  $K_i$ .

При определении комплексного показателя  $K$  используются различные оценочные методы: суммирования, среднеарифметической величины, произведений, учета коэффициентов весомости, корреляционно-регрессивные, экспертов и др. При этом используются формулы:

$$\text{метод суммирования} \quad K = \sum_{i=1}^n K_i;$$

метод среднеарифметической величины

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n};$$

$$\text{метод произведений} \quad K = \prod_{i=1}^n K_i;$$

Изделие	Трудо- ем- кость изго- товле- ния, нор- мо ч	Техноло- гическая себесто- имость, руб	Средняя оператив- ная стои- мость ка питально- го ремон- та, руб
№ 1	550	1000	550
№ 2	550	900	600
Базовое из- делие*	550	1000	550

\*Если базовое изделие отсутствует, то принимают расчетный показатель

*метод учета коэффициентов весо-  
мости*

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i K_{i, \varepsilon}}{\sum_{i=1}^n K_{i, \varepsilon}}$$

где  $K_{i, \varepsilon}$  — коэффициент экономической  
весомости  $(0 < K_{i, \varepsilon} \leq 1, \sum_{i=1}^n K_{i, \varepsilon} = 1)$ , оп-  
ределяемый экспертными или другими  
методами

При использовании *методов кор-  
реляционно-регрессивного анализа*  
получают зависимости, аналогичные  
(2.1) и (2.2), только  $x$  в этих фор-  
мулах не технический показатель,  
а частный показатель технологич-  
ности. Этот метод может применять-  
ся при наличии достаточного коли-  
чества статистических данных.

*Метод экспертов* можно применить  
в случае отсутствия статистических  
данных. Рассмотрим этот метод на  
примере.

*Пример* Дана матрица с частными  
показателями технологичности различных  
изделий (форма 2 1)

Требуется определить, какое изделие бо-  
лее технологично

Прежде всего назначим коэффициенты  
весомости каждого показателя. Предпо-  
жим, что в среднем эксперты установили  
нам следующие коэффициенты весомости  
 $K_{т, \varepsilon} = 0,4$ ,  $K_{с, \varepsilon} = 0,35$ ,  $K_{р, \varepsilon} = 0,25$  После этого  
заново составим матрицу в виде фор-  
мы 2 2

В нижней клетке по каждому изделию  
ставится среднее значение баллов  $i$  го част-  
ного показателя  $j$  го изделия. Обычно  
балл может изменяться от 0 до 10 Среднее

Изде- лие	Трудо- ем- кость из- готовле- ния, нор- мо ч	Технологиче- ская себесто- имость, руб	Средняя опе- ративная стоимость ка- питального ремонта, руб	Резуль- тат
	0,4	0,35	0,25	$\sum K_{i, \varepsilon} = 1$
№ 1	4	3,15	2,25	9,40
	10	9	9	
№ 2	3,6	3,5	1,25	8,35
	9	10	5	

значение баллов определяется как средне-  
арифметическая величина балльной оценки  
экспертов Изделию, имеющему лучшие по-  
казатели технологичности по сравнению с  
базовым и сравниваемым вариантом, при-  
сваивается 10 баллов В верхней клетке ста-  
вится произведение баллов, умноженное  
на коэффициент весомости Изделие, име-  
ющее максимальную сумму произведений,  
считается более технологичным (в нашем  
случае № 1)

## 2.2. ОТРАБОТКА ИЗДЕЛИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

Отработка на технологичность на-  
правлена на повышение производи-  
тельности труда, уменьшение зат-  
рат и сокращение времени на проек-  
тирование, технологическую подго-  
товку производства, изготовление,  
техническое обслуживание и ремонт  
изделия при обеспечении необходи-  
мого качества Отработка автомо-  
биля на технологичность произво-  
дится на всех этапах его разработки  
(конструкторской и технологической  
подготовке производства) и при из-  
готовлении. При проведении работ  
по отработке изделия на технологич-  
ность необходимо учитывать вид из-  
делия, его сложность, новизну и  
перспективность, ожидаемый объем  
выпуска, конкретные условия про-  
изводства, сложность технического  
обслуживания и ремонта, связь до-  
стигнутых показателей технологич-  
ности с другими показателями, каче-  
ство изделия.

Отработка автомобиля на техно-  
логичность состоит из большого чис-

ла работ, наиболее важными из которых являются: повышение серийности автомобиля и его составных частей посредством стандартизации, унификации и конструкторского подбора, а также ограничения номенклатуры конструктивных элементов и применяемых материалов; внедрение прогрессивных технических решений как в области конструирования, так и в области производства, в частности блочно-модульное устройство изделия, научно обоснованные запасы прочности металлоконструкций, без- и малоотходные технологии и т. п.; освоение прогрессивных методов получения заготовок и их обработки.

При отработке изделия на технологичность применяются специальные методы, позволяющие повысить технологическую рациональность и конструкторско-технологическую

преимущество изделия, в частности функционально-стоимостный анализ изделия и его составных частей, экономико-математическое моделирование взаимосвязей основных функциональных и конструкторско-технологических характеристик изделия, точностный анализ изделия и его составных частей.

Укрупненно последовательность работ по отработке изделия на технологичность можно представить в следующем виде: сбор информации о ТКИ аналогов; выбор номенклатуры базовых показателей ТКИ; проведение работ по обеспечению ТКИ на разных стадиях разработки конструкторской документации (техническое задание, эскизный проект, технический проект, рабочая конструкторская документация опытного образца и серийного производства).

## Глава 3

### ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК

#### 3.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

При производстве автомобилей используется литье, обработка давлением, прокат, спекание, комбинированные методы получения заготовок.

Различают *литье* в разовые и многократные формы. Разовые формы — это литье в земляные формы с ручной и машинной формовкой, в стержневые формы, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям. Многократные формы — это литье в кокиль, центробежное, под давлением.

Под обработкой *давлением* понимают получение заготовок в основном с помощьюковки и штамповки. *Ковку* рекомендуется применять в единичном и мелкосерийном производстве. *Штамповку* целесообразно применять в серийном и массовом производстве. Различают горячую и холодную штамповку. К горячей

штамповке относятся: штамповка в открытых и закрытых штампах; выдавливание и прошивка; штамповка в штампах с разъемными матрицами, в частности на горизонтально-ковочных машинах; гибка; вальцовка; радиальное обжатие; накатка зубьев; поперечная прокатка.

При холодной штамповке заготовка холодная или незначительно подогрета. К холодной штамповке также относят получение изделий, у которых при штамповке нагревается только его часть. Холодная штамповка обеспечивает более высокую точность по сравнению с горячей. К холодной штамповке можно отнести калибровку, чеканку, редуцирование, высадку, выдавливание, листовую штамповку.

Из *проката* при изготовлении автомобилей применяют товарные заготовки, сортовые и фасонные профили общего и отраслевого назначения, трубный прокат, гнутые и периоди-

ческие профили, листовой прокат. Товарные заготовки, т. е. обжатые болванки, служат заготовками под ковку и штамповку крупных валов, рычагов, тяг и т. п. Из сортового проката используется круглый горячекатаный повышенной и нормальной точности, круглый калиброванный, квадратный, шестигранный и полосовой горячекатаный. Точность горячекатаного проката ориентировочно соответствует 12...14 качеству, а холоднотянутого—9...12 качеству. Фасонные профили проката общего назначения—это угловая равно- и неравнополочная сталь, двутавровые балки и швеллеры. Фасонные профили проката отраслевого назначения предназначаются специально для отдельных отраслей, в том числе и автомобильной промышленности. Из трубного проката применяются стальные бесшовные трубы—горячекатаные, холоднотянутые и холоднокатаные. Гнутые профили различной конфигурации используют для изготовления опор, кронштейнов, ребер жесткости и т. п. Периодические профили проката соответствуют изготавливаемым из них деталям. Механические свойства периодического проката выше, чем у гладкого проката, благодаря расположению волокон металла в соответствии с конфигурацией детали.

*Спеканием* получают металлокерамические заготовки. Предварительно порошки различных компонентов прессуются при давлении 100...600 МПа, после чего спекаются. Температура спекания ниже точки плавления основного компонента. Металлокерамические заготовки изготавливают из металлов, не смешиваемых в расплавленном виде (железо—свинец, вольфрам—медь), или композиций, состоящих из металлов и неметаллов (медь—графит и др.). Точность заготовок 12...14 качества. Для деталей, работающих в условиях трения, заготовки изготавливают с пористостью 8...10 % с последующей пропиткой маслом.

Из *пластмасс* изготавливают листы, уголки, кольца, трубки, втулки, зубчатые колеса, вкладыши подшипников. Замена черных и цветных металлов пластмассами в условиях крупносерийного и массового производства снижает себестоимость при замене черных металлов в 1,5...3,5 раза, а цветных—в 5...10 раз.

*При комбинированных методах* получения заготовок отдельные части заготовок образуются различными способами или они могут изготавливаться из различных материалов. В дальнейшем эти части соединяются между собой с помощью различных операций сборки (сварка, пайка, склейка и т. п.).

### 3.2. ПРИПУСКИ И НАПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

Припуск—это слой материала, удаляемый с поверхности заготовки для достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности. Напуском принято называть ту удаляемую при последующей обработке часть материала заготовки, которая необходима для упрощения формы заготовки по отношению к форме готовой детали. Припуски и напуски бывают симметричными и асимметричными (рис. 3.1). Различают припуски межоперационные и общие. В машиностроении существует два метода определения припусков: опытно-статистический метод и расчетно-аналитический.

**Опытно-статистический метод определения припусков.** При этом методе припуск на основании опытных данных о фактических припусках, при которых производилась обработка заготовок аналогичных деталей машин, устанавливается суммарно на весь технологический процесс механической обработки, без расчета припуска по составляющим его элементам. Опытно-статистические значения припусков не учитывают схем базирования и других условий выполнения операций. Эти значения обычно завышены, так как не учи-

Тывают особенностями выполнения технологических процессов и соответствуют условиям обработки, при которых припуск должен быть наибольшим.

Методика построения нормативных таблиц, дающих готовое значение припуска, заставляет технолога назначать припуск без анализа условий выполнения операций и изыскания путей уменьшения припуска, что, естественно, недопустимо, так как приводит к значительному перерасходу металла при изготовлении машин. Этому недостатка лишен второй метод определения припусков.

**Расчетно-аналитический метод определения припусков.** Этот метод разработан проф. В. М. Кованом. Припуски на обработку определяют таким образом, чтобы на выполняемом технологическом переходе были устранены погрешности заготовки, имевшиеся после выполнения предшествующего перехода. К погрешностям заготовки относятся дефекты поверхностного слоя и отклонения формы и расположения поверхностей (овальность, конусообразность, отклонения от соосности и параллельность и др.). Качество поверхностного слоя здесь определяется шероховатостью и глубиной поврежденного слоя, т. е. слоя обезуглероженного и имеющего микротрещины (рис. 3.2).

Отклонения формы поверхности детали не должны превышать допуска на обработку и поэтому в минимальном припуске учитываться не должны. Отклонения формы будут учитываться при определении максимального припуска.

Отклонения расположения допуском на обработку не учитываются и поэтому их значения должны входить в минимальный припуск. Кроме этих отклонений, на минимальный припуск будет оказывать влияние погрешность установки заготовки

$$\Delta_y = \sqrt{K_{np}^2 \Delta_{np}^2 + K_3^2 \Delta_3^2 + K_6^2 \Delta_6^2}, \quad (3.1)$$

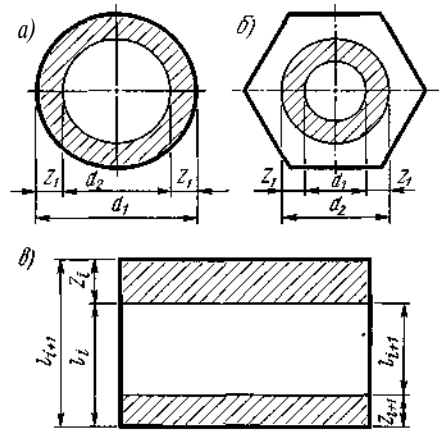


Рис. 3.1. Припуски на обработку:

*a, б* — симметричные; *в* — асимметричные; *Z*, — припуски на обработку; *d, l* — размеры обрабатываемых поверхностей

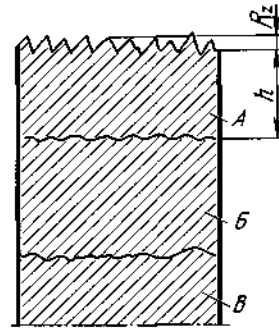


Рис. 3.2. Структура поверхностного слоя металла:

*Rz* — высота неровностей (шероховатость); *A* — дефектный слой металла; *B* — упрочненный слой металла

где  $\Delta_{np}$ ,  $\Delta_3$ ,  $\Delta_6$  — соответственно погрешности приспособления, закрепления и базирования заготовки;  $K$  — соответствующие коэффициенты относительного рассеяния.

Таким образом, минимальный припуск

$$Z_{мин i} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_y,$$

$$\text{ГДС } \rho_{i-1} = \sqrt{\sum_i^n \rho_{(i-1),j}^2}; \quad \rho_{(i-1),j} -$$

пространственная *j*-я погрешность, полученная на предыдущем переходе.

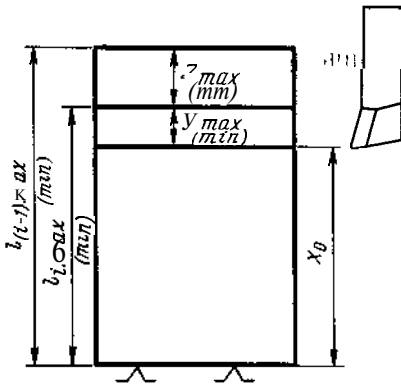


Рис. 3.3. Схема обработки заготовки при автоматическом методе получения размеров

Для тел вращения

$$2Z_{\min i} = 2 \left( Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \Delta y_i^2} \right).$$

Кроме понятия минимального припуска, В. М. Кован ввел понятие максимального, который зависит от метода обеспечения точности и наличия технологической наследственности.

Рассмотрим метод автоматического получения размеров, когда технологическая наследственность присутствует (рис. 3.3). Для примера возьмем строгальную операцию. Резец настроен на размер  $x_0$ . Если не учитывать износ инструмента, то  $x_0$  постоянен для одной партии деталей. На обработку поступают заготовки, имеющие различные размеры в пределах допуска на заготовку.

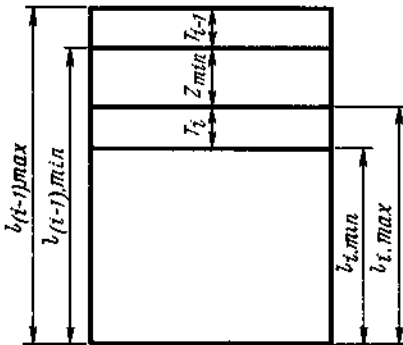


Рис. 3.4. Схема обработки заготовки при методе пробных проходов и промеров

При обработке максимальной заготовки ( $l_{(i-1)max}$ ) будет в начальный период сниматься припуск  $l_{(i-1)max} - x_0$ , что приведет к максимальной силе резания, а она повлечет за собой максимальную деформацию  $y_{max}$  системы СПИД. Вследствие этого будет получен максимальный размер детали. Следовательно,  $Z_{\max i} = l_{(i-1)max} - l_{i,max}$

Аналогично  $Z_{\min i} = l_{(i-1)min} - l_{i,min}$

Учитывая, что  $l_{(i-1)max} = l_{(i-1)min} + T_{i-1}$ , а  $l_{i,max} = l_{i,min} + T_i$ , получим

$$Z_{\max i} = l_{(i-1)min} + T_{i-1} - (l_{i,min} + T_i) = Z_{\min i} + T_{i-1} - T_i,$$

где  $T$  — допуски на обработку.

Но данная зависимость будет верна только для очень жесткого допуска на обработку. В общем случае:

$$Z_{\max i} = l_{(i-1)max} - (x_0 + y_{max}),$$

$$Z_{\min i} = l_{(i-1)min} - (x_0 + y_{min}).$$

Следовательно,  $Z_{\max i} = Z_{\min i} + T_{i-1} - \Delta y$ ;  $\Delta y = y_{max} - y_{min} \rightarrow T_i$ .

Теперь предположим, что технологическая наследственность отсутствует, т. е.  $y_{max} - y_{min} = 0$ . Такие случаи возможны при обработке мягких материалов на чистовых и получистовых операциях. Предположим, что  $x_0 + y = l_i \rightarrow \text{const}$ . Тогда:

$$Z_{\max i} = l_{(i-1)max} - l_i; \quad Z_{\min i} = l_{(i-1)min} - l_i;$$

$$Z_{\max i} = (l_{(i-1)min} + T_{i-1}) - l_i = Z_{\min i} + T_{i-1}.$$

Таким образом, при автоматическом методе получения размеров разница между максимальным и минимальным припусками будет от  $T_{i-1}$  до  $(T_{i-1} - T_i)$ .

Теперь рассмотрим метод пробных проходов и промеров. Минимальный припуск может сниматься у заготовки с минимальным размером (рис. 3.4), что приведет к готовой детали с максимальным размером, т. е.

$$Z_{\min i} = l_{(i-1)min} - l_{i,max}$$

Если станочник, обрабатывая максимальную заготовку, сразу или за счет нескольких проходов получил размер готовой детали  $l_{i,min}$  то брака не будет, но будет сниматься мак-



симальный припуск  $Z_{\max,i} = l_{(i-1),\max} - l_{i,\min}$ . При этом  $Z_{\max,i} = (l_{(i-1),\min} + T_{i-1}) - (l_{i,\max} - T_i) = Z_{\min,i} + T_{i-1} + T_i$ .

### 3.3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЗАГОТОВКИ

Среди технических требований в первую очередь необходимо учитывать материал, конфигурацию, размер, массу, точность и качество поверхностного слоя заготовки, направление волокон, которое предопределяет как последовательность обработки, так и прочность детали. Так, деталь из чугуна предопределяет получение заготовки литьем. Заготовки для крупногабаритных и сложных в конструкторском исполнении деталей экономически выгодно получать литьем или комбинированными методами. Заготовки для зубчатых колес можно получать различными методами, но заготовки для силовых зубчатых колес получают в основном давлением, так как в этом случае мы имеем волокнистую структуру, позволяющую воспринимать большие нагрузки по сравнению с аморфной структурой. Обработка на полуавтоматических станках повышает требования к точности и качеству поверхности обрабатываемых заготовок, так как в этом случае нельзя получать заготовки ковкой и т. д.

Выбор экономического критерия зависит от конкретных условий. Если для изготовления заготовки не нужно приобретать оборудование, то

экономическим критерием будет являться минимальная себестоимость детали

$$C_{\text{дет}} - C_{\text{заг}} + C_{\text{об}} \quad C_{\text{отх}} \rightarrow \min,$$

где  $C_{\text{заг}}$  — затраты на материал и изготовление заготовки;  $C_{\text{об}}$  — затраты на механическую обработку заготовки;  $C_{\text{отх}}$  — стоимость отходов при механической обработке.

Затраты на заготовку зависят от способа ее получения. При получении заготовки по кооперации

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{пр}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{хр}},$$

где  $C_{\text{пр}}$  — преискурантная стоимость заготовки;  $C_{\text{тр}}$  — затраты на транспортировку заготовки;  $C_{\text{хр}}$  — затраты на хранение заготовки.

Если заготовку получают в собственных заготовительных цехах, то

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{мет}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{а}} + C_{\text{р}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{н.ц}},$$

где  $C_{\text{мет}}$  — стоимость металла;  $C_{\text{зп}}$  — заработная плата рабочих с начислениями;  $C_{\text{а}}$  — затраты на амортизацию оборудования;  $C_{\text{р}}$  — затраты на ремонт оборудования;  $C_{\text{пр}}$  — затраты на ремонт и амортизацию приспособлений;  $C_{\text{н.ц}}$  — накладные цеховые расходы.

Когда для изготовления заготовок необходимо приобрести оборудование (проектирование нового предприятия, реконструкция существующего), необходимо учитывать приведенные затраты

$$Z_{\text{пр}} = C_{\text{дет}} N + E_{\text{н.а}},$$

где  $N$  — годовая программа выпуска изделий;  $E_{\text{н.а}}$  — нормативный коэффициент экономической эффективности;  $K$  — капитальные вложения, учитывающие стоимость оборудования, его транспортировку и монтаж.

## Глава 4

### ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

#### 4.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Точность обработки или точность технологического процесса характеризуется погрешностью изготовления продукции, т. е. отклонением действительного значения параметра

производимой продукции от его номинального значения, установленного нормативно-технической документацией. *Случайная погрешность* изготовления изделия — это составляющая погрешности производства продукции, случайным образом при-

нимающая при неизменных условиях различные модуль и (или) знак. При тех же условиях *систематическая погрешность* — это составляющая, сохраняющая или принимающая закономерно изменяющиеся модуль и (или) знак. Точность во многом зависит от метода ее обеспечения.

#### 4.2. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

**Метод пробных проходов и промеров.** При этом методе, называемом также методом индивидуального получения размеров, станочник подводит режущий инструмент к заготовке и снимает с короткого участка пробную стружку. Толщину снимаемого слоя он определяет как разницу между размерами заготовки и готовой детали. Измерив обработанный участок и сравнив полученный размер с требуемым, станочник в случае необходимости вносит коррективы в глубину резания. Число пробных проходов и корректировок инструмента зависит от квалификации станочника и требуемой точности детали. Только убедившись, что полученный размер соответствует нормативно-технической документации, он обрабатывает всю деталь. При этом методе точность обработки во многом зависит от квалификации станочника.

**Метод автоматического получения размеров.** При этом методе станок настраивается таким образом, чтобы требуемая точность и конфигурация детали получались автоматически. Влияние станочника на точность обработки в этом случае сводится к минимуму.

На точность технологического процесса влияют различные факторы, из которых в первую очередь рекомендуется учитывать следующие: неточность станка в ненагруженном состоянии; силовые деформации системы СПИД (станок—приспособление—инструмент—деталь); погреш-

ность установки; неточность наладки и подналадки; неточность изготовления режущего инструмента и его размерный износ; температурные деформации системы СПИД; неточность детали вследствие перераспределения внутренних напряжений.

Эти элементарные факторы могут приводить как к систематическим, так и к случайным погрешностям. Все зависит от конкретных условий. Так, например, если анализируется точность деталей одной партии, то погрешность, возникающая из-за неточности наладки, будет систематической погрешностью, а если анализируют детали из разных партий, то эта погрешность будет выступать как случайная погрешность.

Суммарная погрешность обработки

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_i^n \Delta_{\text{сист } i} + \sqrt{\sum_j^m K_j^2 \Delta_{\text{сл } j}^2} \leq T,$$

где  $\Delta_{\text{сист } i}$  — систематическая  $i$ -я погрешность,  $\Delta_{\text{сл } j}$  — случайная  $j$ -я погрешность;  $K_j$  — коэффициент относительного рассеяния  $j$ -й случайной погрешности;  $T$  — допуск на анализируемый параметр.

$$K = \sigma_j / \sigma_n,$$

где  $\sigma_j$  — среднеквадратическое отклонение при  $j$ -м законе распределения;  $\sigma_n$  — то же при нормальном законе распределения.

Суммарную погрешность обработки можно определить и не анализируя элементарные факторы, а использовать вероятностно-статистический метод. При этом методе на основании статистических данных устанавливаются закон распределения контролируемого параметра и его числовые характеристики (математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение). Полученные характеристики, с учетом процента риска, сравнивают с данными, приведенными в нормативно-технической документации, и делают заключение о точности технологического процесса. Но в большинстве

случаев при использовании только этого метода затруднено выявить влияние элементарных факторов на точность обработки. Поэтому он часто используется совместно с методом расчета влияния элементарных факторов на точность обработки. Иногда метод расчета точности с учетом элементарных факторов называют расчетно-аналитическим.

### 4.3. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

#### 4.3.1. Неточность станка в ненагруженном состоянии

Известно, что любой станок имеет определенные геометрические неточности (биение шпинделя, непрямолинейность перемещения суппорта, неперпендикулярность оси шпинделя к плоскости стола и т. п.). В техническом паспорте каждого станка приводятся допустимые отклонения и фактические, которые не должны превышать допустимые, зависящие от группы точности станка.

С течением времени станки изнашиваются и их неточность прогрессирует, передаваясь полностью или частично на обрабатываемую деталь. Так, непараллельность оси шпинделя токарного станка направляющим суппорта в горизонтальной плоскости приведет к конусообразности детали

$$\Delta d = 2\Delta Hl/L,$$

где  $\Delta H$  — непараллельность оси шпинделя перемещению суппорта по базовой длине  $L$ ;  $l$  — длина обработки.

Для предупреждения возможности появления брака необходимо выбирать оборудование, которое по своим характеристикам может обеспечить требуемую точность изготовления детали. Для поддержания станков в работоспособном состоянии необходимо регулярно проводить их техническое обслуживание и ремонт.

#### 4.3.2. Силовые деформации системы СПИД

Силовые деформации зависят от силы резания и жесткости системы СПИД. Сила резания зависит от режимов резания, материала заготовки и инструмента, формы режущего инструмента и т. п. В общем случае (рис. 4.1) сила резания (в ньютонах)

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}.$$

Жесткость системы СПИД  $j = P/S$ , где  $S$  — перемещение системы СПИД в направлении действия силы, мм.

Для удобства расчетов вместо жесткости используют податливость  $\omega = 1000/j$ .

При анализе величин деформаций нас интересует не суммарная деформация, а только деформация, влияющая на точность обработки. Следовательно, вместо суммарной жесткости или податливости нас интересует в основном только жесткость или податливость в направлении действия силы  $P_y$ , т. е.  $j = P_y/S$ . Докажем это утверждение на примере токарной обработки. Сила  $P_x$  значительно меньше сил  $P_z$  и  $P_y$ , а жесткость по оси  $x$  превосходит жесткость по осям  $z$  и  $y$ , поэтому деформацию от силы  $P_x$  можно не учитывать. Деформации по осям  $z$  и  $y$  по-разному влияют на точность обработки (рис. 4.2). Деформация  $S_y$  по оси  $y$  приводит к увеличению диаметра детали на  $\Delta d = 2S_y$ . Деформация по оси  $z$  также окажет

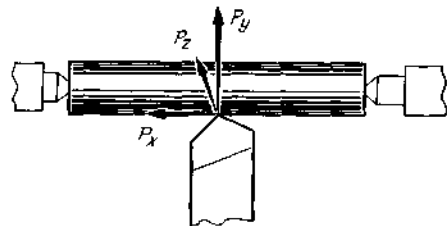


Рис. 4.1. Схема сил резания:  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  — составляющие силы резания по основным осям координат

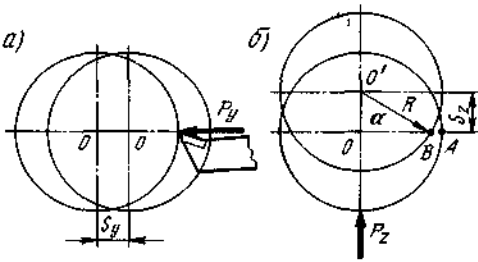


Рис. 4.2. Увеличение диаметра обрабатываемой детали против расчетного при деформации системы СПИД от сил  $P_y$  (а) и  $P_z$  (б)

влияние на увеличение диаметра обрабатываемой детали, равное удвоенной величине отрезка  $AB$ , т. е.  $\Delta d = 2AB$ , где  $AB = R - R \cos \alpha = R(1 - \cos \alpha)$ ;  $\alpha = \arcsin S_z/R$ . Предположим, что мы обрабатываем вал диаметром 100 мм,  $S_y = 1$  мм;  $S_z = 1,5$  мм. Определим действительный размер обработанной детали. Так, от наличия силы  $P_y$  диаметр детали  $d_f = 100 + 2S_y = 102$  мм.  $AB = 50(1 - \cos \alpha)$ ;  $\alpha = \arcsin(1,5/50) \approx 10'$ ;  $\cos 10' \approx 1$ . Следовательно,  $AB \approx 0$ . Для того чтобы  $\cos \alpha$  в нашем случае хотя бы незначительно отличалась от единицы, например 0,999, угол  $\alpha$  должен быть  $1^\circ 50'$ , а это нереально.

В процессе обработки возникают постоянные и переменные силы резания. Деформацию от постоянной силы резания можно с достаточной точностью определить расчетом. В частности, при обработке вала в центрах (рис. 4.3) вал рассматривается как балка, расположенная на двух

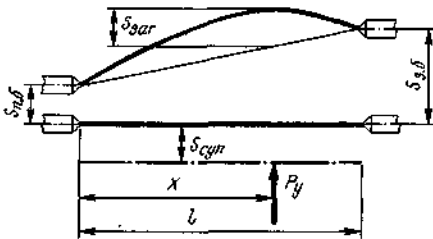


Рис. 4.3. Схема деформации системы СПИД при обработке вала в центрах на токарном станке

опорах. Деформация опор (передней и задней бабок) и суппорта определяется как произведение соответствующей силы на их податливость. Суммарная деформация, приводящая к увеличению размера детали,  $\Delta d = 2[S_{п\sigma} + (S_{з\sigma} - S_{п\sigma})x/l + S_{суп} + S_{зар}]$ .

Деформация заготовки

$$S_{зар} = \frac{P_y}{3EI} \frac{(l-x)^2 x^2}{l}$$

где  $E$  — модуль упругости;  $I$  — момент инерции.

Суммарная деформация в различных точках по длине детали будет различная, а следовательно, будет не только увеличиваться диаметр детали, но и возникать погрешность ее формы.

Изменение силы резания возникает из-за неодинакового значения и твердости снимаемого припуска, из-за вибрации неуравновешенных масс системы СПИД, а также вследствие влияния посторонних источников вибрации. Такими источниками могут быть другие станки, движение транспорта и т. п. В этом случае система СПИД рассматривается как упругая замкнутая динамическая система, а

$$P = P_n + P_d \sin \omega t,$$

где  $P_n$  — постоянная сила резания;  $P_d$  — амплитуда возмущающей (динамической) силы;  $\omega$  — частота вращения;  $t$  — время.

Частота колебаний, связанная с динамическим возбуждением системы СПИД, возрастает с увеличением ширины срезаемой стружки и жесткости технологической системы и уменьшается при увеличении массы и глубины резания.

При обработке резанием могут возникать низко- и высокочастотные вибрации. Низкочастотные вибрации (от 10 до сотен герц) обычно возникают при вибрации всего станка и приводят к образованию глубоких волн на обрабатываемой поверхности. Высокочастотная вибрация, достигающая 1500...4000 Гц, обычно

возникает при больших скоростях резания (более 150 м/мин) из-за недостаточной жесткости резцов. Так как существует большое число факторов, влияющих на динамические деформации, определить их значение расчетным способом не всегда возможно.

Для уменьшения влияния на точность обработки деформаций системы СПИД можно рекомендовать:

увеличить жесткость системы СПИД с помощью дополнительных приспособлений (люнеты, выдвигаемые опоры и т. п.);

изменить режимы резания. Часто в системе СПИД возникают резонансные колебания и простое изменение режимов резания (частота вращения детали, глубина и подача резания) может вывести систему из резонанса;

рассчитать деформацию системы СПИД от постоянных сил и внести соответствующие коррективы в глубину резания;

расположить оборудование вдали от источников вибрации;

добиться надежной установки станков, сводящей к минимуму вибрации технологической системы. Надежность установки может быть достигнута в одних случаях при установке станка на пневморезиновые подушки, в других при установке его на массивный фундамент. Выбор того или иного способа установки станка зависит от степени точности станка и точности обрабатываемой детали, режимов резания, наличия посторонних источников вибрации;

установить виброгасители (гидравлические, механические, динамические одно- и многомассовые виброгасители ударного действия).

#### 4.3.3. Погрешность установки

В общем случае погрешность установки  $\Delta y$  определяется по формуле (3.1) с учетом погрешности технологической базы и зависит от погрешностей технологической базы,

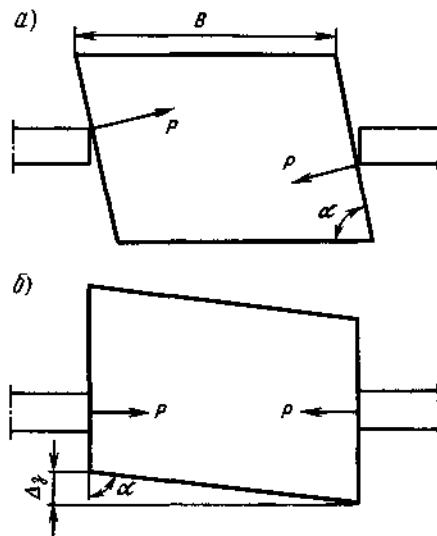


Рис. 4.4. Схема выжимания заготовки при установке в тисках:

а — перед зажатием, б — после зажатия

приспособления, закрепления и базирования. *Погрешность приспособления* возникает вследствие неточности приспособления или износа его составных частей. Погрешность эта определяется экспериментально или рассчитывается при проектировании с использованием метода размерного анализа конструкции

*Погрешность закрепления* возникает из-за контактных или объемных деформаций детали, а также вследствие так называемого выжимания заготовки при установке ее в приспособление. Выжимание заготовки возможно при наличии больших штамповочных или литейных уклонов (рис. 4.4).

Основные рекомендации по уменьшению погрешности закрепления:

силы и моменты, прикладываемые к закрепляемой заготовке, устанавливать больше сил и моментов, возникающих при резании;

прикладывать силы закрепления напротив опорных точек для исключения объемных деформаций заготовки;

применять правильную последовательность приложения сил закрепления (рис. 4.5);

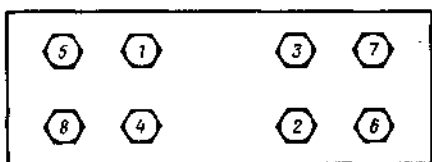


Рис. 4.5. Последовательность приложения сил закрепления к заготовке

в случае необходимости рассчитывать контактные деформации заготовки и учитывать их при настройке режущего инструмента.

*Погрешность базирования* возникает при автоматическом методе получения размеров в случае, если технологическая база не совпадает с измерительной. База — это поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащие заготовке или изделию и используемые для базирования, т. е. придания заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат. Базы классифицируются по назначению, по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления.

По назначению базы делятся на конструкторские (основные и вспомогательные), технологические и измерительные. *Основная база* — конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии. *Вспомогательная база* — конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения по-

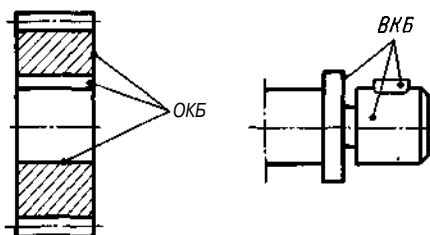


Рис. 4.6. Основные (ОК) и вспомогательные (ВКБ) конструкторские базы

ложения изделия, присоединяемого к ней (рис. 4.6). *Технологическая база* используется для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта. *Измерительная база* используется для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

По лишаемым степеням свободы базы классифицируют на основе известного правила, что тело в пространстве обладает шестью степенями свободы. Для того чтобы определить тело в пространстве, т. е. сбазировать, необходимо лишить его этих степеней свободы наложением на него шести двусторонних связей, материализуемых в виде опорных или контактных точек с приложением силового замыкания. Наложение на тело связей сверх шести не только нежелательно, но и вредно, так как может привести к неопределенности базирования.

Предположим, что поверхность, являющаяся установочной базой, опирается на четыре точки. Плоскость определяется тремя точками и поэтому одна точка не будет контактировать с поверхностью (из-за невозможности абсолютно точно обработать опоры). Следовательно, четвертая опора не нужна. А если прилагать силовое замыкание в нескольких точках поверхности, то в зависимости от порядка приложения силового замыкания плоскость будет занимать различные положения, т. е. будет иметь место неопределенность базирования.

В зависимости от лишаемых степеней свободы различают следующие базы: *установочная* — 3 опорные точки, *направляющая* — 2 точки, *опорная* — 1 точка, *двойная направляющая* — 4 точки, *двойная опорная* — 2 точки (рис. 4.7).

Рассмотрим погрешность базирования на примере (рис. 4.8). Имеется партия заготовок  $A \times B \times D$ , у которых необходимо профрезеровать паз, определяемый размерами  $C$  и  $Я$ . Производим наладку станка таким обра-

зом, чтобы при одной настройке инструмента можно было обработать всю партию. Для этой цели настраиваем фрезу на размеры  $X_1$  и  $X_2$ . Эти настроечные размеры будут постоянными при обработке всей партии деталей (при условии, что не учитывается деформация системы СПИД и износ инструмента). Размер  $X_2$  совпадает с размером  $C$  и постоянен в процессе обработки, следовательно, и погрешность базирования размера  $C$  будет равна нулю.

Размер  $H$  не является настроечным размером, технологическая база / для этого размера не совпадает с измерительной и, следовательно, для него будет возникать погрешность базирования  $\Delta H_6 = H_{\max} - H_{\min}$ .

Так как  $H_{\max} = A_{\max} - X_1$ ;  $H_{\min} = A_{\min} - X_1$ , то  $\Delta H_6 = A_{\max} - A_{\min} = TA$ .

Если мы возьмем за технологические базы поверхности 2 и 3, то погрешность базирования для размеров  $C$  и  $A$  будет отсутствовать, так как технологические и измерительные базы будут совпадать, а размеры  $C$  и  $H$  будут настроечными размерами.

Таким образом, погрешностью базирования считается разность предельных положений режущей кромки инструмента относительно измерительной базы при автоматическом методе получения размеров. Эта разность будет возникать только в том случае, когда технологическая база не совпадает с измерительной.

Погрешность технологической базы  $\Delta_T$  включает в себя погрешности формы (овальность, огранка и т. п.)  $\Delta_\phi$  и пространственные погрешности (биение, неперпендикулярность и т. п.)  $\Delta_{\text{пр}}$ :  $\Delta_T = \sqrt{K_\phi^2 \Delta_\phi^2 + K_{\text{пр}}^2 \Delta_{\text{пр}}^2}$ . Погрешность технологической базы особенно велика при ремонте детали, когда приходится иметь дело с изношенными поверхностями.

Технологические базы обыкновенно подразделяются на черновые, чистовые и искусственные. Черновые базы применяются при черновой, чист-

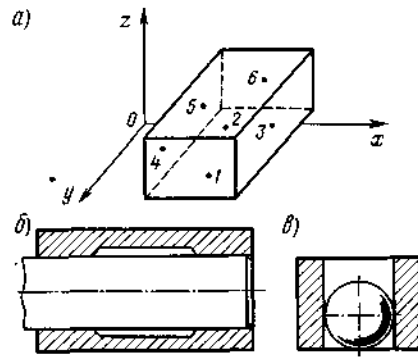


Рис. 4.7. Виды баз в зависимости от лишаемых степеней свободы:

а — деталь, установленная по трем базам: установочной — плоскость  $XOY$  (точки 1, 2, 3), направляющей — плоскость  $YOZ$  (точки 4, 5), опорной — плоскость  $XOZ$  (точка 6); б — деталь (вал), установленная по двойной направляющей базе; в — сферическая деталь, установленная по двойной опорной базе

вые — при чистовой обработке. Искусственная база создается, когда конфигурация заготовки не дает возможности выбрать надежную технологическую базу. Типичным представителем искусственной базы является пара центровых отверстий. К искусственным базам также относятся технологические базы, которые в целях обеспечения точности детали обрабатываются с более высокой точностью, чем требуется по техническим условиям на изготовление.

Для уменьшения влияния погрешности установки на точность обработки рекомендуется придерживаться следующих правил:

за технологические базы принимаются поверхности, обладающие достаточной жесткостью;

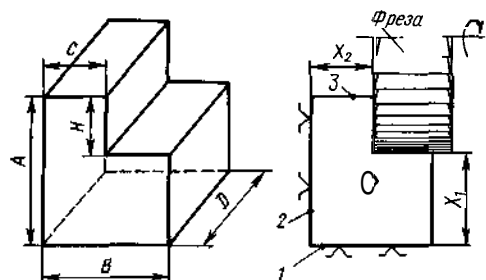


Рис. 4.8. К определению погрешности базирования

за установочную базу принимается поверхность, обладающая максимальными габаритными размерами; за направляющую базу принимается поверхность, обладающая максимальной длиной;

черновая база принимается один раз и на первом установе;

за черновую базу принимаются поверхности, которые не обрабатываются или обрабатываются с минимальной точностью. В этом случае будет минимальное смещение черновых поверхностей от чистовых;

за черновую базу не рекомендуется принимать поверхности, имеющие большие штамповочные или литейные уклоны;

за чистовую базу рекомендуется принимать основную конструкторскую базу, причем необходимо стремиться к совмещению технологических и измерительных баз;

при смене баз придерживаться принципа сменности баз, т. е. от менее точной к более точной;

придерживаться принципа постоянства баз, т. е. обрабатывать деталь с одного установа.

#### 4.3.4. Неточность наладки и подналадки

От точности настройки режущего инструмента во многом зависит и точность наладки (подналадки). Точность настройки в свою очередь зависит от способа контроля точности настройки или плана контроля точности настройки оборудования (табл. 4.1).

Таким образом, план 1.1.1 означает, что настройка осуществляется методом пробных деталей, точность настройки контролируется относительно заданного уровня, контроль точности настройки следует проводить по среднеарифметическому значению  $n$  измерений.

При проверке правильности настройки на данный уровень контролируемый параметр ( $\bar{x}$ ,  $\tilde{x}$  и т. д.) не должен превышать абсолютную

Таблица 4.1. Кодировочная таблица планов контроля точности настройки оборудования

Порядок расположения цифры кода	Код	Работа
Первая	1	Настройка методом пробных деталей
»	2	Настройка методом эталонов
Вторая	1	Контроль правильности настройки на заданный уровень
»	2	Контроль правильности настройки в пределах заданного допуска на настройку
Третья	1	Контроль по среднеарифметическому значению $x$ из $n$ измерений
»	2	Контроль по значению медианы $\tilde{x}$ из $n$ измерений
»	3	Контроль по индивидуальным значениям
»	4	Контроль по сгруппированным индивидуальным значениям

погрешность  $e = \sigma_m \sqrt{n}$ , где  $t_\beta$  — коэффициент, зависящий от закона распределения и доверительной вероятности. Абсолютная погрешность является половиной доверительного интервала для среднеарифметического значения параметра (или же медианы  $\tilde{x}$ ), определяемая в зависимости от доверительной вероятности (обычно 0,8; 0,9; 0,95) и числа пробных деталей  $n$ . При известном среднеквадратическом отклонении  $\sigma_m$  абсолютная погрешность определяется приблизительно, т. е. считаем, что среднеарифметическая величина распределяется по нормальному закону, а при неизвестном  $\sigma_m$  абсолютную погрешность определяют по уточненному методу, т. е. считаем, что среднеарифметическая величина распределена по закону Стьюдента.

Наибольшую точность дают планы 1.1.3 и 1.2.3, но эти планы предъявляют слишком жесткие требования к точности оборудования. Планами 2.1.1, 2.2.1, 2.1.2, 2.2.2, 2.1.4, 2.2.4 следует пользоваться в случаях, когда в технической документации предусмотрено проведение контроля точности по пробным деталям, т. е. фактически вместо первой цифры 2 мы можем поставить цифру 1. Пла-



нам с первым кодовым признаком 2 следует отдавать предпочтение в случаях многоинструментальной настройки.

На производстве часто применяют настройку режущего инструмента по эталону при измерении пробных деталей рабочими калибрами. Такой метод настройки можно описать планом 2.2.3 или 1.2.3 в случае, если допуск на настройку равен допуску на изготовление. Достоинство этого метода — отсутствие всяких расчетов. Недостаток — большая неопределенность (энтропия) настройки. Точность настройки зависит во многом от опыта наладчика и не поддается действенному контролю. Энтропия настройки объясняется двумя причинами. Первая — при измерении деталей мы не знаем истинного размера, а знаем лишь то, что он находится в пределах допуска на изготовление (рис. 4.9). Вторая — нам неизвестно, как расположится мгновенное поле рассеивания размеров.

На производстве применяется также метод настройки режущего инструмента по пробным деталям при измерении их универсальным измерительным инструментом. Этот метод соответствует планам 1.1.1 и 1.2.1. В большинстве случаев настройку ведут в пределах поля допуска на настройку, т. е. по плану 1.2.1. Теоретические предпосылки этого метода разработаны проф. А. Б. Яхиным. Предположим вначале, что уровень настройки находится посередине поля допуска, т. е.

$$x_0 = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}.$$

Допуск на настройку  $T(H)$  рекомендуется находить по зависимости

$$T(\text{Я}) = \sqrt{1,2V\Delta_{\text{рег}}^2 + \Delta_{\text{изм}}^2},$$

где  $\Delta_{\text{рег}}$  — погрешность регулирования режущего инструмента;  $\Delta_{\text{изм}}$  — погрешность измерения пробных деталей, зависящая от точности контролируемого инструмента; 1,2 — коэффициент, учиты-

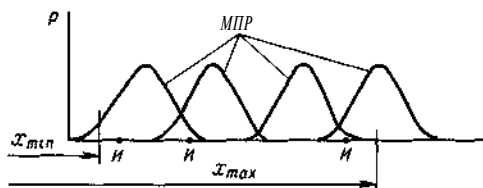


Рис. 4.9. Графики распределения, иллюстрирующие неопределенность настройки станка с помощью рабочих калибров:

$H$  — истинный размер деталей,  $МПР$  — мгновенное поле рассеивания размеров,  $P$  — вероятность события

вающий отклонение случайных величин от нормального закона распределения.

Согласно плану 1.2.1 настройка будет правильной, если среднеарифметическое значение  $k$  результатов измерения пробных деталей будет находиться в пределах поля допуска на настройку. В самых неблагоприятных случаях оно расположится на границах поля допуска на настройку. Среднеарифметическая величина, являясь случайной, имеет поле рассеивания, зависящее от закона распределения случайной величины  $k$ . Но согласно предельной теореме при достаточно большом  $n$  закон распределения  $\bar{x}$  близок к нормальному. Поэтому с достаточной точностью можно утверждать, что распределение  $k$  подчиняется нормальному закону распределения со среднеквадратическим отклонением  $\sigma_x$ . Таким образом можно утверждать, что при  $i$ -й наладке математическое ожидание мгновенного поля рассеивания будет располагаться от границы поля допуска на настройку не более чем на  $3\sigma_x$  (рис. 4.10). Для определения  $\sigma_x$  требуется большое число значений  $x$ , поэтому выразим ее через среднеквадратическое отклонение рассеяния единичных результатов измерений, т. е.  $\sigma_x = \sigma_x / \sqrt{n}$ . Прибавим к отрезку  $3\sigma_x / \sqrt{n}$  половину мгновенного поля рассеивания  $l\sigma_x/2$  и выясним, будет брак в начальный период или нет. Если отрезок  $l\sigma_x/2$  выходит за границы  $x_{\min}$  или  $x_{\max}$ , то вероятность брака существует, если

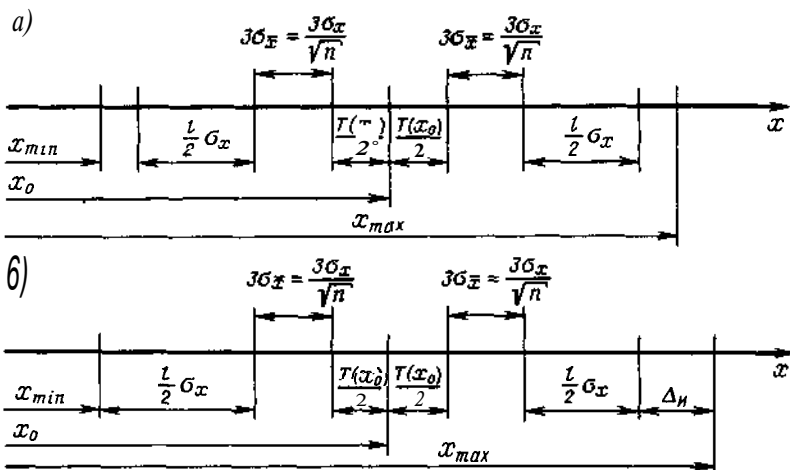


Рис 4.10 Схемы настройки станка по плану 1.2.1:

$$a - \text{при } x_0 = \frac{x_{\min} + x_{\max}}{2}; \quad б - \text{при } x_0 \neq \frac{x_{\min} + x_{\max}}{2}$$

нет, то вероятность брака практически отсутствует. Таким образом, условия непоявления брака можно записать как

$$x_{\min} \leq x_0 \pm \left( \frac{T(x_0)}{2} + \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} + \frac{l\sigma_x}{2} \right) \leq x_{\max}$$

где  $l$  — коэффициент, зависящий от закона распределения (для нормального закона  $l = 6$ ).

В случае распределения случайной величины по нормальному закону условие непоявления брака можно переписать в виде

$$x_{\min} \leq x_0 \pm \left[ \frac{T(x_0)}{2} + 3\sigma_x \left( \frac{1}{\sqrt{n}} + 1 \right) \right] \leq x_{\max}$$

Погрешность наладки

$$\Delta_n = 1,2 \sqrt{\Delta_{\text{рег}}^2 + \Delta_{\text{изм}}^2 + \Delta_{\text{пл}}^2}$$

где  $\Delta_{\text{пл}}$  — погрешность плана на-стройки. В нашем случае

$$\Delta_{\text{пл}} = 6\sigma_x / \sqrt{n}$$

Рассмотрим случай, когда

$$x_0 \neq \frac{x_{\min} + x_{\max}}{2}$$

Здесь уровень настройки смещается к нижнему предельному размеру для вала и к верхнему предельному для втулки. При таком построении возникает отрезок  $\Delta_n$ , который учитывает смещение мгновенного поля рассеивания во времени, в частности из-за износа режущего инструмента.

Погрешность подналадки состоит из погрешности наладки и погрешности определения момента подналадки. Погрешность определения подналадки не оказывает влияния на суммарную точность обработки в начальный период (при мгновенной выборке) и проявляет свое влияние только в случае анализа продукции за длительный период (одна или несколько партий). Погрешность момента подналадки зависит от метода его определения. Принципиально определение момента подналадки может осуществляться при трех различных ситуациях.

1. Производится измерение контролируемого параметра в ходе работы и по результатам измерений принимается решение о подналадке. Погрешность зависит от метода контроля (сплошной контроль, стати-

стическое регулирование технологических процессов и т. п.).

2. Периодичность подналадки определяется расчетным методом.

3. Периодичность подналадки предварительно рассчитывается, но окончательное решение о подналадке принимается непосредственно по результатам измерений.

Для первого случая в массовом и крупносерийном производстве наибольшее распространение получили два метода регулирования: качественный и количественный.

Типичным представителем качественного метода является «Статистическое регулирование технологических процессов методом учета дефектов с применением контрольных карт числа дефектных единиц продукции или числа дефектов». Здесь применяются следующие виды контрольных карт: контрольная карта дефектности (*p*-карта); контрольная карта числа дефектных единиц продукции (*np*-карта); контрольная карта числа дефектов (*c*-карта); контрольная карта среднего числа дефектов на единицу продукции (*u*-карта). Выбор той или иной контрольной карты зависит от постоянства объема выборки, случайности появления дефектов на единицу длины, объема. Эти контрольные карты позволяют анализировать причины появления брака, но их можно использовать и для определения момента подналадки. Если число дефектов превысит приемочный уровень дефектности, то необходимо произвести подналадку. Приемочный уровень дефектности устанавливается как отношение затрат на контроль одного изделия к потерям от каждого дефектного изделия.

Метод количественного (статистического) регулирования зависит от закона распределения контролируемой величины, от числовых характеристик закона и от регулируемого параметра технологического процесса. Наиболее распространенным является статистическое регулирование технологических процессов при

нормальном законе распределения контролируемого параметра. Контролируемыми параметрами являются уровень настройки и рассеивания параметров технологического процесса.

Уровень настройки оценивается с помощью среднеарифметической величины  $\bar{x}$  или медианы  $\overset{\circ}{x}$ , а рассеивание параметров — по среднеквадратическому отклонению  $a$  или размаху  $R$ . Пример контрольной карты регулирования наладки по среднеарифметическому значению приведен на рис. 4.11.

Сигналом разладки технологического процесса является выход регулируемой статистической характеристики за границу регулирования. Наладка процесса должна осуществляться в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, действующей на предприятии.

Для статистического регулирования следует выбрать план регулирования, в частности для регулирования уровня настройки необходимо выбрать период выборок или проб  $t$ , объем выборки  $n$  и границы регулирования (для среднеарифметических величин  $a^+$  и  $a_-$ ). Исходными величинами для выбора плана регулирования ЯВЛЯЮТСЯ  $\mu_0$ ,  $\sigma$ ,  $\mu_1$  ИЛИ  $\mu_{-1}$ ,  $L_0$  и  $L_1$ , где  $\mu_0$  — среднее значение контролируемого параметра, при котором, соблюдая данную технологию, выпускают продукцию наилучшего качества (в большинстве случаев  $\mu_0$  соответствует значению середины поля допуска);  $\mu_1$  или  $\mu_{-1}$  — предельно допустимое среднее значение контролируемого параметра, при котором требуется корректировка процесса (это значение соответствует максимально допустимой доле брака);  $L_0$  — средняя длина серий выборок налаженного процесса, т. е. среднее число выборок (проб) между соседними решениями о наладке технологического процесса при отсутствии его разладки;  $L_1$  — средняя длина серий выборок при разлаженном технологическом процессе, т. е. среднее число выборок

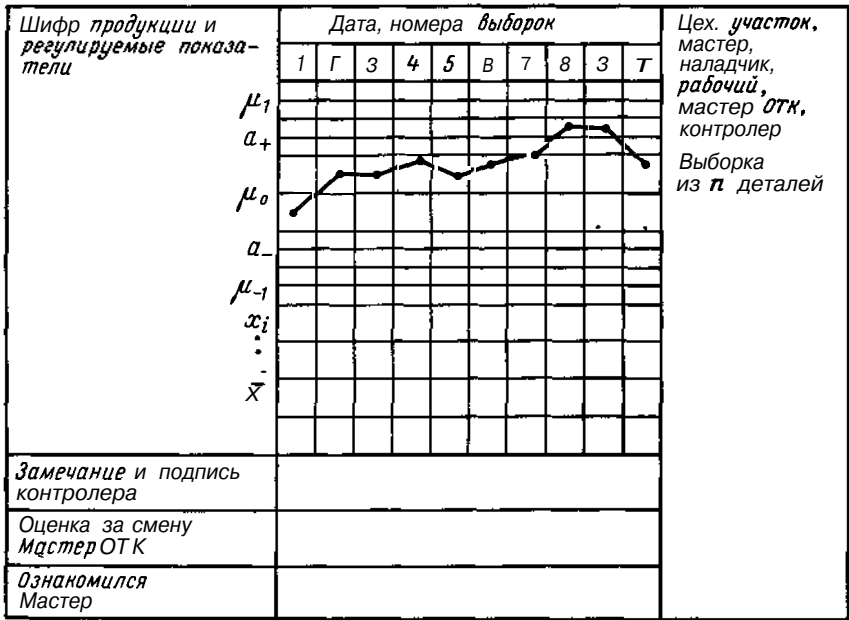


Рис 4 11 Карта среднеарифметических значений параметра

(проб) между моментом разладки технологического процесса и моментом его наладки.

Период отбора проб рассчитывают исходя из стоимости наладки и стоимости убытков от одной дефектной единицы продукции или выбирают на основе статистических данных. Объем выборки принимают в зависимости  $L_0, L_1, b, u/n$ , где  $\delta = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma}$  нормированное смещение наладки технологического процесса при его разладке;  $u$  — квантиль нормального распределения для вероятности  $1 - \alpha$ ;  $a$  — риск излишней наладки. Границы регулирования:

$$a_+ = \mu_0 + \frac{u}{\sqrt{n}} \text{ or } a_- = \mu_0 - \frac{u}{\sqrt{n}} a.$$

Если  $\bar{x}$  выборки равняется или превысил  $\mu_1$  или  $\mu_{-1}$ , процесс должен быть немедленно остановлен и произведена его подналадка. Если  $\bar{x}$  оказался в интервале между  $a_+$  и  $\mu_1$  или  $a_-$  и  $\mu_{-1}$ , процесс можно не прерывать, но в контрольной карте

должна быть запись о недопустимости таких явлений.

Доля брака при налаженном процессе

$$q_0 = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{h''}{\sigma}}^{\frac{h'}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz;$$

то же при разлаженном

$$q_1 = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{h}{\sigma} - \delta}^{\frac{h}{\sigma} - \delta} e^{-\frac{z^2}{2}} dz;$$

где  $h', h''$  — соответственно верхнее и нижнее отклонение контролируемого параметра от его среднего значения  $\mu_0$ .

Для второго случая периодичность подналадки определяется расчетным путем. В процессе работы уровень наладки смещается к верхнему предельному отклонению  $E_s$  для вала и нижнему предельному отклонению  $E_i$

для отверстия (рис. 4.12). В случае если уровень настройки смещается по закону прямой линии  $x_i = v_j N_i + x_{0j}$ , а мгновенное поле рассеивания контролируемого параметра  $\sigma_{xj}$  практически постоянно в любой момент времени, то общее поле рассеивания до момента подналадки

$$\omega = \frac{l}{2} \hat{\sigma}_m + \hat{M}(v) N_n + \frac{l}{2} \hat{\sigma}_l.$$

$$\text{Здесь } \hat{\sigma}_m = \sqrt{\hat{\sigma}_{x_0}^2 + \hat{\sigma}_{x_j}^2};$$

$$\text{ст} - \sqrt{\hat{\sigma}_{x_0}^2 + \text{ст}_i^2 + \hat{\sigma}_v^2 N_n^2},$$

где  $\hat{\sigma}_{x_0}$ ,  $\hat{\sigma}_{x_j}$ ,  $\hat{\sigma}_v$  — соответственно оценки среднеквадратического отклонения полей рассеивания уровня настройки,  $j$ -й партии, скорости смещения;  $l$  — коэффициент, зависящий от закона распределения и вероятности риска  $p$ , т. е. вероятности выхода контролируемого параметра за верхнее  $E_s$  или нижнее предельное отклонение поля допуска  $E_l$  (задается для момента времени, предшествующего подналадке),  $\hat{M}(v)$  — оценка математического ожидания скорости изменения уровня настройки;  $v_j$  — случайная величина скорости смещения уровня настройки, численно равная тангенсу угла наклона прямой смещения;  $N_n$  — предельное число деталей, после обработки которых необходимо производить подналадку.

Периодичность подналадки должна определяться из условия обеспечения заданной точности обработки

$$P(x_i \leq E_s) = 1 - \Phi \left[ \frac{E_s - \hat{M}(x_0) - \hat{M}(v) N_n}{\sqrt{\frac{l^2}{2} \frac{\hat{\sigma}_{x_0}^2 + \hat{\sigma}_{x_j}^2}{v^2} + \frac{l^2}{2} \frac{\hat{\sigma}_v^2}{v^2} N_n^2}} \right] = 1 - \beta$$

или

$$P(x_i \geq E_l) = 1 - \Phi \left[ \frac{\hat{M}(x_0) - \hat{M}(v) N_n - E_l}{\sqrt{N_n^2 \hat{\sigma}_v^2 + \hat{\sigma}_{x_0}^2 + \hat{\sigma}_{x_j}^2}} \right] = 1 - \beta,$$

где  $P(x_i \leq E_s)$ ,  $P(x_i \geq E_l)$  — вероятность того что рассматриваемый параметр изделия за время обработки до проведе-

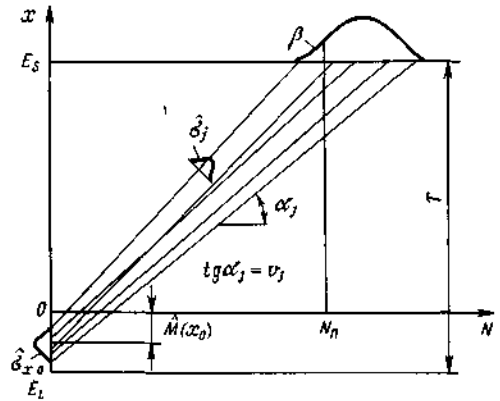


Рис 4.12 К определению момента подналадки

ния подналадки не выйдет соответственно за верхнее и нижнее предельное отклонение поля допуска;  $\Phi[\cdot]$  — символ функции Лапласа;  $\hat{M}(x_0)$  — оценка математического ожидания уровня настройки в начальный момент.

Следовательно, момент подналадки для вала можно найти из следующей зависимости:

$$E_s = \hat{M}(x_0) - \hat{M}(v) N_n - \frac{l}{2} \hat{\sigma}_l = 0,$$

где

$$N_n = \frac{E_s - \hat{M}(x_0)}{\hat{M}(v)} - \frac{l}{2} \times \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_{x_0}^2 + \hat{\sigma}_{x_j}^2}{\hat{M}^2(0)} + \frac{\hat{\sigma}_v^2}{\hat{M}^2(v)} N_n^2}.$$

Обозначим

$$a = \frac{\hat{\sigma}_{x_0}^2 + \hat{\sigma}_{x_j}^2}{\hat{M}^2(v)}; \quad b = \frac{E_s - \hat{M}(x_0)}{\hat{M}(v)}; \\ c = \frac{\hat{\sigma}_v^2}{\hat{M}^2(v)}.$$

Подставив  $a$ ,  $b$  и  $c$  и произведя несложные преобразования, получим квадратное уравнение для определения  $N_n$ :

$$\left[ 1 - \left( \frac{l}{2} \right)^2 c \right] N_n^2 - 2b N_n + b^2 - \left( \frac{l}{2} \right)^2 a = 0.$$

**Таблица 4.2** Значения  $l/2$  в зависимости от заданного уровня гарантии  $(1-p)$

$1-p$	0,80	0,85	0,90	0,95	0,975	0,99	0,9973	0,999
$l/2$	0,84	1,04	1,28	1,65	1,96	2,33	2,78	3,09

При решении этого уравнения получим два значения  $N$ : максимальное и минимальное. В нашем случае нас интересует только минимальное значение. Значения  $l/2$  при этом определяются по табл. 4.2.

Периодичность подналадки для третьего случая предварительно рассчитывают, но подналадку производят не по результатам расчета, а по результатам измерений контролируемого параметра. Контроль начинают проводить после обработки расчетного числа деталей. Погрешность момента подналадки зависит от метода контроля. В случае статистического контроля долю брака можно определять как для первого случая.

#### 4.3.5. Неточность изготовления режущего инструмента и его износ

Неточность изготовления режущего инструмента оказывает влияние на точность обработки в основном при обработке заготовок мерным инструментом (сверло, зенкер, протяжка, фасонный инструмент). Для повышения точности обработки рекомендуется выбирать более точный инструмент.

Износ инструмента характеризуется типичной кривой износа. Для линейной части износа в технологической литературе приводятся удельные износы инструментов. Так, например, удельный износ  $I_0$  резцов при чистовом точении углеродистой стали для материала резца ТЗОК6 равен 0,7...4 мкм/1000 м, для Т15К6—5...7 мкм/1000 м.

Расчет влияния износа  $I$  режущего инструмента на точность обработки можно проводить по формуле  $I = I_0 L$ , где  $L$  — длина резания, м.

Применительно к точению

$$L = \pi d \frac{l}{s} 10^{-3},$$

где  $d$  — диаметр обрабатываемой заготовки, мм;  $l$  — длина обрабатываемой заготовки, мм;  $s$  — подача, мм/об.

Таким образом, при точении вала мы будем получать конусообразность  $2 \cdot 10^{-6} I_0 \pi d l / s$ .

Для того чтобы учесть более интенсивное начальное изнашивание инструмента, принято увеличивать полученную расчетную длину резания на 1000 м. Таким образом, если мы будем определять конусообразность детали непосредственно после заточки инструмента, то последнее выражение приобретет вид:

$$\begin{aligned} 2I_0 \left( \pi d \frac{l}{s} 10^{-3} + 10^3 \right) 10^{-3} &= \\ &= 2I_0 \left( \pi d \frac{L}{s} 10^{-6} + 1 \right). \end{aligned}$$

Удельный износ режущего инструмента в значительной степени зависит от материала инструмента и заготовки, геометрии и состояния лезвия, режимов резания, жесткости системы СПИД и др.

Для уменьшения влияния износа режущего инструмента на точность обработки рекомендуется следующее:

выбирать более износостойкий режущий инструмент;

применять смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ), так как она приводит к уменьшению сил резания;

не работать на режимах, приводящих к вибрации системы СПИД.

#### 4.3.6. Температурные деформации системы СПИД

При обработке резанием происходит нагрев элементов станка, инструмента и заготовки, вследствие чего происходят их перемещения, которые отражаются на точности обработки. Полную погрешность обработки  $\Delta_{\text{СПИД}}$ , связанную с температурными деформациями, обычно

определить очень сложно. Для операций с жесткими допусками на обработку  $\Delta_{T_{спид}} \approx (0,1 \dots 0,15) \Delta_{\Sigma}$  для станков с лезвийным инструментом и  $(0,3 \dots 0,4) \Delta_{\Sigma}$  для шлифовальных станков.

Из элементов станка наиболее нагреваются шпиндельные бабки. Продолжительность нагрева обычно составляет 3...5 ч. Нагрев инструмента приводит к изменению его размеров. В обычных условиях работы без охлаждения удлинение резака может достигать 30...50 мкм, при применении СОЖ удлинение резцов уменьшается в 3...3,5 раза. Удлинение резца (в мкм) в условиях теплового равновесия

$$\Delta l_p \approx C \frac{l_p}{F} \sigma_b (ts)^{0,75} \sqrt{v} \frac{T_o}{T_{шт}},$$

где  $C$  — постоянная (при  $t \leq 1,5$  мм;  $s \leq 0,2$  мм/об;  $v = 100 \dots 200$  м/мин;  $C = 0,45$ );  $l_p$  — вылет резца, мм;  $F$  — площадь поперечного сечения резца, мм<sup>2</sup>;  $\sigma_b$  — предел прочности материала заготовки, МПа;  $T_o$  — основное время;  $T_{шт}$  — штучное время.

Распределение теплоты резания между стружкой, деталью и инструментом зависит от метода и условий обработки, материала обрабатываемой детали и инструмента. Так, при точении углеродистых сталей 60...90 % тепла уходит в стружку, а в инструмент — 3...5 %; при точении жаропрочных, титановых сплавов 35...45 % тепла переносится в деталь и 20...40 % — в резец, остальное — в стружку. Теплота, переходящая в заготовку, вызывает определенные погрешности. Так, при равномерном нагреве возникает погрешность размеров, при местных нагревах отдельных участков — погрешность формы.

Для уменьшения влияния температурных деформаций рекомендуется следующее:

- применять СОЖ;
- работать на высоких скоростях и повышенных подачах, так как это ведет к уменьшению продолжительности теплового воздействия. Од-

нако надо помнить, что увеличение частоты вращения ведет к увеличению температуры нагрева шпинделя (смещение шпинделя пропорционально  $\sqrt{n}$ );

- уменьшать глубину резания;
- не совмещать черновую и чистовую обработку;

- не производить измерение заготовки непосредственно после обработки;

- обработку точных деталей производить после достижения станком теплового баланса;

- поддерживать постоянный температурный режим в цехе;

- применять различные температурные компенсаторы.

#### 4.3.7. Неточность детали вследствие перераспределения внутренних напряжений

Неуравновешенные внутренние напряжения возникают в заготовке при литье, обработке давлением, сварке, термической обработке, обработке резанием и др. Уравновешиваясь с течением времени, они приводят к определенным пространственным Деформациям заготовки или готовой детали. Время, в течение которого они уравновешиваются, зависит от многих факторов и может колебаться от нескольких часов до года. При механической обработке резанием после снятия поверхностных слоев металла уравновешенность внутренних напряжений часто нарушается. Рассчитать ожидаемые погрешности обработки вследствие перераспределения внутренних напряжений достаточно сложно. Не давая подробного анализа физического процесса возникновения внутренних напряжений, приведем только рекомендации, ведущие к их уменьшению:

- при конструировании детали стремиться к созданию плавных переходов от одного объема металла к другому (для ступеней вала — галтели);

для деталей, имеющих большую массу и изготовляемых по высокой точности, рекомендуется применять старение (естественное или искусственное);

при проведении термической обработки отдавать предпочтение ТВЧ. При необходимости проведения объемной закалки обязательно проводить отпуск, причем стремиться к закалке всей детали, а не части ее;

желательно не совмещать черновую и чистовую обработку, так как

благодаря этому заготовки находятся какое-то время в заделах, что приводит к уменьшению внутренних напряжений (по закону экспоненты);

не производить холодную правку ответственных деталей, так как это приводит к неуравновешенности внутренних напряжений;

желательно не обрабатывать длинные тонкие детали с одной стороны (например, прорезать шпоночный паз в длинном валике).

## Глава 5

### КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

#### 5.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Качество поверхностей детали характеризуется шероховатостью, волнистостью, физико-механическими и химическими свойствами, а также наличием остаточных напряжений. Качество поверхностного слоя оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства детали.

**Шероховатость поверхности.** Износостойкость детали увеличивается с уменьшением шероховатости, но до определенного уровня, далее она возрастает (рис. 5.1). Более высокий темп износа при большой шероховатости объясняется механическим зацеплением, скалыванием и срезом неровностей поверхностей. Возрастание темпа износа при шероховатости меньше оптимальной объяс-

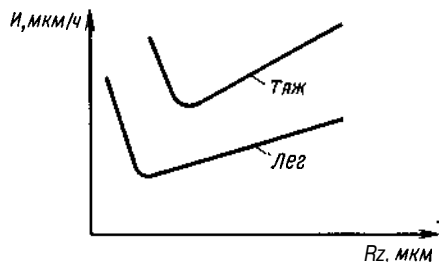


Рис. 5.1. Зависимость износа от шероховатости поверхности

няется межмолекулярным сцеплением, которое возникает из-за выдавливания смазочного материала и плохой смачиваемости чистых поверхностей. В зависимости от условий работы оптимум шероховатости бывает разным. При более тяжелых условиях оптимум смещается вправо. На износ оказывает влияние направление неровностей. При жидкостном трении и малой высоте неровностей направление рисков влияние на износ не оказывает, при увеличении шероховатости приводит к уменьшению износа параллельное направление рисков и скорости движения. При граничном трении с малыми неровностями параллельное направление рисков и скорости движения приводит к увеличению износа по причине возникновения схватывания металла, при увеличении микронеровности параллельное направление благоприятнее перпендикулярного.

Форма неровностей также оказывает влияние на износ. Более многочисленные неровности при одинаковой их высоте обеспечивают меньший темп износа.

Усталостная прочность деталей снижается с увеличением шероховатости. Особенно интенсивно снижается усталостная прочность при острой шероховатости (рис. 5.2).



Уменьшение шероховатости неблагоприятно сказывается на прочности прессовых соединений и коррозионной стойкости деталей.

**Волнистость поверхности.** Отличие волнистости от шероховатости условно. Шероховатостью считается неровность с относительно малыми шагами, т. е.  $S/H < 50$ . При волнистости  $S/H = 50 \dots 1000$ , где  $S$  — шаг волны неровности;  $H$  — высота неровности. Поэтому ее влияние на эксплуатационные свойства детали во многом аналогично влиянию шероховатости.

**Физико-механические и химические свойства поверхностного слоя деталей.** Поверхностный слой отличается от основной части металла, он обычно сильно деформирован и упрочнен. В поверхностном слое под воздействием окружающей среды и температуры возникают различного рода химические соединения, в частности окислы. Деформационное упрочнение (*наклеп*) оценивается по глубине и степени наклепа. Степень наклепа представляет собой отношение поверхностной твердости к твердости исходного материала.

Износостойкость деталей в большинстве случаев улучшается с повышением твердости поверхностного слоя, но надо помнить, что перенаклеп поверхностного слоя может привести к микротрещинам и шелушению металла.

Усталостная прочность деталей повышается с увеличением наклепа металла. Считается, что циклическая прочность наклепанных деталей возрастает на 25...35 %.

Коррозионная стойкость снижается с повышением наклепа из-за появления большого числа коррозионных микроэлементов. В зонах сдвигов кристаллических решеток и мест выхода дислокаций (линейный дефект кристаллической решетки) убыстряется абсорбция и развиваются коррозионные и диффузионные процессы. Но иногда наклеп (обкатка роликом, обработка дробью) позволяет завальцевать

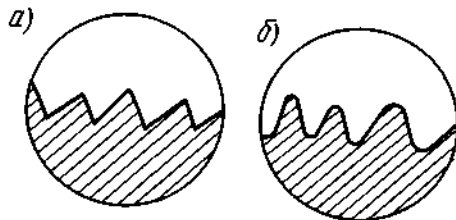


Рис. 5.2. Острая (а) и гладкая (б) формы шероховатости

пути проникновения активных веществ внутрь металла, благодаря чему коррозионная стойкость не снижается. В большинстве случаев наклеп оказывает вредное влияние на прочность деталей, работающих при температурах выше 700...800 °С.

**Остаточные напряжения.** Они практически не оказывают влияния на износ, но отражаются на усталостной прочности детали. Сжимающие напряжения увеличивают усталостную прочность, а растягивающие ее снижают, причем сжимающие напряжения в большей мере повышают предел выносливости, чем снижают его такие же по значению остаточные напряжения растяжения.

## 5.2. ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**Обеспечение требуемой шероховатости поверхности.** Обыкновенно поперечная шероховатость больше продольной (вдоль действия инструмента, в частности резца) и поэтому, когда говорят о шероховатости поверхности, подразумевают поперечную шероховатость. Эта шероховатость зависит от большого числа факторов: вида и режима обработки, инструмента, станка, химического состава и микроструктуры обрабатываемого материала и др.

*Скорость резания* в зависимости от материалов по-разному влияет на шероховатость. С увеличением скорости резания шероховатость поверхности у хрупких материалов

уменьшается за счет того, что уменьшается откалывание части металла при образовании стружки. У легкоплавких металлов при увеличении скорости шероховатость вначале уменьшается, а затем резко возрастает из-за значительного нагрева и оплавления поверхности. У конструкционных углеродистых сталей вначале увеличивается шероховатость, а затем при достижении скорости 20...30 м/мин шероховатость начинает уменьшаться и при скоростях более 70 м/мин практически остается постоянной. При шлифовании шероховатость с увеличением скорости уменьшается.

В общем случае при увеличении *подачи s* шероховатость увеличивается. При обработке резцом для определения шероховатости можно воспользоваться зависимостью  $R_z = s^2 / (8r)$ , где *r* — радиус закругления вершины угла.

При точении углеродистых сталей изменение подачи в диапазоне 0,05...0,1 мм/об практически никакого влияния на шероховатость не оказывает. При увеличении подачи свыше 0,1 мм/об шероховатость возрастает примерно по закону параболы. При подачах, меньших 0,02...0,05 мм/об, в зависимости от материала заготовки шероховатость незначительно возрастает из-за влияния упругих и пластических деформаций поверхностного слоя.

При обработке деталей размерным инструментом (зенкер, развертки и т. п.) увеличение подачи приводит к незначительному повышению шероховатости. При увеличении подачи при шлифовании шероховатость возрастает.

**Глубина резания** при обработке лезвийным инструментом практически не оказывает влияния на шероховатость. При шлифовании шероховатость возрастает с увеличением глубины резания. В диапазоне глубин 0,005...0,02 мм происходит интенсивный рост шероховатости, а при глубинах более 0,02 мм — медленный рост шероховатости.

**Форма резца** оказывает значительное влияние на шероховатость. Увеличение главного и вспомогательных углов в плане приводит к росту шероховатости. Возрастание радиуса закругления вершины резца снижает высоту шероховатости. Затупление режущего инструмента и появление на нем зазубрин приводят к росту шероховатости при обработке: резцом — на 50...60 %, цилиндрическими фрезами — на 100...115 %, торцовыми фрезами — на 35...45 %, сверлом — на 30...40 %, разверткой — на 20...30 %. При обработке заготовок абразивным инструментом шероховатость снижается с уменьшением зернистости.

**Жесткость системы СПИД** оказывает заметное влияние на шероховатость: с уменьшением ее шероховатость возрастает. Чем больше вибрация системы СПИД, тем значительнее высота неровностей.

Применение *смазочно-охлаждающей жидкости* приводит к снижению шероховатости. При применении минеральных осерненных и растительных масел высота микронеровностей уменьшается на 25...40 %.

На шероховатость поверхности оказывает влияние *способ получения заготовки и ее химический состав*. Заготовки с мелкозернистой структурой и повышенной твердостью имеют меньшую шероховатость, чем с крупнозернистой структурой и пониженной твердостью. Заготовки из стали с повышенным содержанием серы и Стали с присадкой свинца имеют повышенную шероховатость по сравнению с углеродистыми сталями.

**Формирование физико-механических свойств.** В процессе обработки в поверхностном слое под действием сил резания происходят упругие и пластические деформации, приводящие к наклепу, одновременно происходит нагрев поверхностного слоя, приводящий к потере упрочнения, т. е. постоянно действует комплекс силовых и тепловых факторов, и в зависимости от того, какие факто-

ры преобладают, получается упрочнение (наклеп) или разупрочнение поверхностного слоя.

Степень и глубина распространения наклепа изменяются в зависимости от вида и режима механической обработки, от геометрии режущего инструмента. Глубина наклепанного слоя в зависимости от метода обработки может изменяться от нескольких микрометров до 1,0 мм и выше. Степень наклепа повышается при увеличении подачи. Влияние глубины резания на степень наклепа считается спорным: одни специалисты считают, что при ее увеличении наклеп возрастает из-за увеличения радиуса закругления лезвия, другие же влияние глубины резания на степень наклепа отрицают.

Теоретически увеличение скорости резания должно приводить к снижению твердости поверхности слоя, так как уменьшается время силового воздействия инструмента на деталь и повышается температура нагрева поверхностного слоя. Это утверждение верно для металлов, не претерпевающих при резании структурных изменений. В противном случае при увеличении скорости резания возрастание теплоты может вызвать поверхностную закалку, что приведет к повышению микротвердости поверхностного слоя, но не за счет наклепа, а из-за структурных изменений.

Степень наклепа зависит от углов заточки режущего инструмента. Увеличение отрицательных значений переднего угла (от 15 до 45°) приводит к росту степени наклепа. При увеличении заднего угла в пределах от 3 до 15° глубина наклепа уменьшается. Увеличение радиуса скругления режущей кромки приводит к увеличению степени и глубины наклепа. Аналогичная картина получается при износе режущего инструмента.

При шлифовании общие закономерности возникновения наклепа сохраняются. Наклеп возрастает с

увеличением глубины резания, продольной подачи стола или частоты вращения изделия, размера и радиуса округления абразивных зерен. Скорость резания или частота вращения абразивного круга действует по тем же зависимостям, что и скорость при точении.

При доводке происходит наклеп поверхностного слоя, особенно значительный в режиме полирования. Так, при хонинговании в режиме полирования наклеп возрастает на 30..40 %, а при суперфинишировании закаленной стали — на 25..30 %.

**Снижение остаточных напряжений поверхностного слоя.** Не останавливаясь на физических процессах образования остаточных напряжений в поверхностном слое, отметим, что виды обработки и режимы резания, для которых характерны повышенные силы резания и пластические деформации, вызывают рост остаточных напряжений сжатия и снижение растягивающих напряжений, за исключением обработки пластических металлов, когда повышение влияния силового поля может привести к усилению растягивающих и уменьшению сжимающих напряжений.

При точении окончательная степень, глубина распространения и характер эпюры остаточных напряжений поверхностного слоя зависят от воздействия каждого из факторов, участвующих в формировании остаточных напряжений.

При обработке пластических материалов с увеличением *подачи* происходит рост остаточных напряжений растяжения. При точении малопластических материалов с увеличением подачи растут сжимающие напряжения. При обработке закаленных сталей, малопластических материалов при увеличении подачи возрастает температура поверхностного слоя, которая может привести к появлению растягивающих напряжений.

При обработке пластических материалов с повышением *скорости ре-*

зания возрастают растягивающие напряжения, но если металл воспринимает закалку, то повышение скорости может привести к закалке металла поверхностного слоя, которая снижает растягивающие напряжения и превращает их в напряжения сжатия. При обработке малопластических материалов увеличение скорости приводит к снижению сжимающих напряжений и даже появлению напряжений растяжения. При точении закаленных металлов возможен отпуск поверхностного слоя, который приводит к уменьшению сжимающих напряжений.

При уменьшении переднего угла *инструмента* (от положительных значений до отрицательных) возрастают остаточные напряжения сжатия. Затупление режущего инструмента приводит к возрастанию растягивающих напряжений при обработке пластических материалов и увеличению сжимающих напряже-

ний при обработке малопластических материалов.

При шлифовании возникают большие напряжения в поверхностном слое и высокая температура в зоне резания. В зависимости от того, какой фактор будет преобладать, могут получиться различные эпюры напряжений по знаку и значению. Таким образом, ухудшение охлаждения обрабатываемого материала, увеличение частоты вращения круга, затупление, засаливание круга, повышение его твердости, увеличение глубины шлифования и подачи, снижение частоты вращения изделия приводят к тому, что остаточные напряжения растяжения растут, а сжатия снижаются.

При доводке в поверхностном слое обычно возникают остаточные напряжения сжатия, соизмеримые по значению с напряжениями, появляющимися при других видах механической обработки.

## Глава 6

### СТАНОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

#### 6.1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИИ

Приспособление (оснастка) — техническое устройство, присоединяемое к машине (оборудованию) или используемое самостоятельно для установки, базирования, закрепления предметов производства или ин-

струмента при выполнении технологических (в том числе контрольных, регулировочных, испытательных, транспортных и др.) операций.

Применение приспособлений снижает трудоемкость и себестоимость обработки деталей (рис. 6.1). Кривые 1 характеризуют приспособления ручного труда и одностепенные, а кривые 2 — механизированные и многостепенные приспособления. Коэффициент оснащенности  $K$  равен отношению числа применяемых приспособлений к числу операций обработки данной детали.

Все многообразие конструкций приспособлений классифицируют на группы и подгруппы по следующим классификационным признакам.

*По целевому назначению:* станочные приспособления для установки (и закрепления) изделий на оборудовании — токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные и

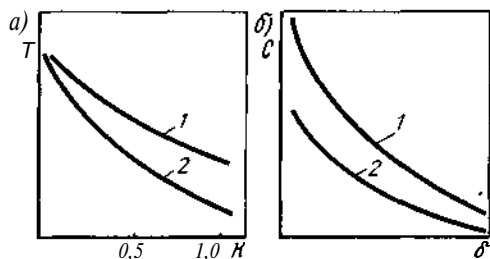


Рис. 6.1. Зависимость трудоемкости  $T$  от коэффициента оснащенности  $K$  (а) и себестоимости обработки  $C$  от допуска на изготовление  $b$  (б)

др.; станочные приспособления для установки обрабатывающих инструментов — патроны, зажимы, оправки и т. п.; сборочные приспособления; контрольные приспособления; транспортно-кантовальные приспособления и др.

*По степени специализации* — универсальные, специализированные, специальные.

*По степени использования энергии неживой природы* — ручные, механизированные, полуавтоматические и автоматические.

В зависимости от конкретных организационно-технических условий производства применяют следующие *системы технологической оснастки*: универсально-наладочная (УНО), универсально-сборная (УСО), универсально-безналадочная (УБО), сборно-разборная (СРО), специализированная наладочная (СНО), неразборная специальная (НСО). Кроме того, применяют средства механизации зажима станочных приспособлений (СМЗСП).

В зависимости от объема затрат на оснащение операций станочными приспособлениями указанных систем и коэффициентов загрузки приспособлений существуют зоны рентабельности применения систем технологической-оснастки.

## **6.2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

Все приспособления практически сводятся к единой структуре, включающей в себя следующие основные группы элементов: установочные для детали, установочные и направляющие для инструмента, зажимные, вспомогательные, корпуса.

### **6.2.1. Установочные элементы (опоры)**

Выбор типа, размеров, точности исполнения и пространственного расположения установочных элемен-

тов производят при анализе технологических баз, их формы, размеров, точности и расположения. При базировании изделий по плоскостям применяют точечные неподвижные опоры со сферической, плоской и рифленой поверхностями (при использовании черновых баз) и опорные пластины (при использовании обработанных баз). По внешним цилиндрическим поверхностям обрабатываемые изделия устанавливают в широкие или узкие призмы, втулки и полувтулки, цанги, кулачки самоцентрирующих патронов и подобные установочные и установочно-зажимные элементы; по внутренним базам — на цилиндрические и срезанные пальцы, сухари, различные оправки, кулачки разжимных устройств и другие элементы. Установку по центровым отверстиям осуществляют на центры. Установку по профильным базам (зубья шестерен, шлицы и пр.) производят с помощью роликов, шариков и др. Полная установка (базирование) изделия производится с помощью комплекта баз (установочной, направляющей и опорной) и соответственно комплекта установочных элементов, количество и расположение которых в приспособлении назначают в зависимости от требуемой точности ориентации и устойчивости изделия согласно принятой схеме базирования (с учетом «правила шести точек»).

Повышение износостойкости установочных элементов достигается применением углеродистых и легированных сталей У7, У8, У10, 65Г и других с закалкой до твердости *HRC*, 56...61 или конструкционных сталей (20, 20Х, 15ХН и др. с цементацией и закалкой до той же твердости). В ряде случаев установочные элементы армируют твердым сплавом и другими материалами. При выборе установочных элементов рекомендуются следующие предельные нагрузки: на опоры со сферической головкой диамет-

ром 10 мм—2 кН; 16 мм—5 кН; 25 мм—12 кН; 40 мм—30 кН; для опор с рифленой поверхностью допускают нагрузки в 2 раза больше; для опор с гладкой поверхностью и опорных пластин допустимая контактная нагрузка 5 МПа.

### 6.2.2. Элементы для установки и ориентирования инструмента

Настройка фрезерных станков на необходимый размер производится с помощью различных установов — высотных и угловых. При этом применяют различные шупы, размещаемые между режущим лезвием и установом, — плоские и цилиндрические.

Для повышения жесткости режущих инструментов и точности обработки отверстий при сверлильных и расточных работах и устранения упругих отжатый инструментов применяют кондукторные и направляющие втулки. Неподвижные кондукторные втулки подразделяются на постоянные, сменные и промежуточные, которые служат для установки сменных и быстросменных кондукторных втулок с целью уменьшения износа плиты. При растачивании отверстий для направления инструмента применяют вращающиеся втулки на шариковых подшипниках.

Кондукторные втулки изготавливают из сталей 9ХС, У10А с закалкой до  $HRC_3$ , 59...63, из сталей 20 и 20Х — с цементацией и закалкой до той же твердости.

### 6.2.3. Зажимные элементы и механизмы приспособлений

Зажимные механизмы (ЗМ) служат для надежного и стабильного закрепления изделий и исключения смещения изделий при обработке. К зажимным механизмам предъявляют следующие основные требования:

силы закрепления в общем случае должны соответствовать силам резания, тяжести и инерции;

при ручном приводе сила закрепления рукой — не более 145...195 Н; при обработке точных и жестких деталей учитывать возможность деформации и повреждения поверхностей обрабатываемых деталей;

зажимные механизмы должны быть защищены от загрязнений и стружки;

удобство в работе, в обслуживании и ремонте;

наличие возможно большего числа стандартных, унифицированных и нормализованных деталей и сборочных единиц.

Зажимные механизмы подразделяются на простые устройства (винтовые, клиновые, эксцентриковые, рычажные и др.) и сложные (комбинированные), состоящие из комбинации простых, соединенных в определенном порядке.

Силы закрепления  $P_3$  определяют из условия равновесия обрабатываемого изделия с учетом сил резания  $P$  ( $P_z$ ,  $P_x$ ,  $P_y$ ), которые определяются по известным формулам, массы изделия, центробежных, инерционных и иных сил, а также сил зажима, реакции и упругих характеристик ЗМ. В общем случае силовой расчет носит пространственный характер, однако для упрощения и ускорения расчетов можно рассматривать условие равновесия в наиболее приоритетных направлениях (при сохранении достаточной для практики точности расчетов и качества приспособлений).

В зависимости от упругих характеристик рассматривают два типа ЗМ:

самотормозящие, имеющие прямую зависимость между приложенной силой и упругим перемещением (винтовые, клиновые, эксцентриковые и т. п.);

механизмы, имеющие сложную зависимость между приложенной силой и упругими перемещениями

Таблица 6.1. Силы закрепления в зависимости от диаметра винта ( $\sigma_{\text{т}} = 100$  МПа)\*

Параметр винта	$d$ , мм								
	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42
Шаг резьбы, мм	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5
$P_3$ , Н	3100	4900	7000	12500	19600	28000	44000	63500	86400

\*Для винтов, изготовленных из другого материала, сила  $P_3$  определяется умножением табличного значения на отношение  $\sigma_{\text{т}}/100$ .

(пневматические, пневмогидравлические прямого действия).

При определении силы закрепления (зажима)  $P_3$  пользуются известными расчетными схемами и формулами.

Эффективность закрепления изделия зависит не только от силы  $P_3$ , но и от направления и места ее приложения. Выбор направления оговаривается следующими условиями: перпендикулярность  $P_3$  к плоскостям установочных элементов; совпадение  $P_3$  с силой тяжести изделия; желательность совпадения направлений  $P_3$  и  $P$ ; действие  $P_3$  и реакций опор не должно приводить к опрокидывающим и изгибающим моментам; точка приложения  $P_3$  должна быть возможно ближе к месту обработки и пр. Для уменьшения  $P_3$  и изменения ее направления в силовую схему закрепления, кроме установочных элементов, вводят дополнительные упоры.

Для обеспечения надежного закрепления изделия, компенсирующего нестабильность силовых воздействий при обработке, при вычислении  $P_3$  вводят коэффициент запаса  $K$ . Если при расчете коэффициент запаса окажется меньше 2,5, то принимают  $K = 2,5$ .

В формулы расчета сил закрепления  $P_3$  входит коэффициент трения в местах контакта заготовки с опорами и зажимным механизмом, значение которого принимают из справочных таблиц.

**Винтовые зажимные механизмы.** Эти устройства находят широкое применение в приспособлениях вследствие простоты и компактности

конструкции, широкого использования стандартизованных деталей, возможности создания значительных зажимных усилий при сравнительно небольшом моменте на приводе, способности к самоторможению и т. п. Однако сравнительно большое время срабатывания ручных винтовых ЗМ (2...4 с), нестабильность сил закрепления ограничивают их применение при обработке жестких деталей и в условиях крупносерийного производства.

Номинальный диаметр винтов (шпилек)

$$d = C\sqrt{P_3/\sigma_{\text{в}}}$$

где  $C$  — коэффициент вида резьбы (для основной метрической резьбы  $C = 1,4$ );  $\sigma_{\text{в}}$  — допускаемое напряжение растяжения (сжатия) (для винтов из стали  $45 \sigma_{\text{в}} = 80...100$  МПа).

Расчетный диаметр округляют до ближайшего большего табличного (табл. 6.1).

Момент, развиваемый на рукоятке или маховичке при закреплении, приближенно (для метрических резьб) определяют из выражения  $M_3 = 0,2dP_3$ ; при откреплении  $M_0 = 0,25dP_3$ .

**Эксцентрикковые зажимные устройства.** Такие элементы отличаются простотой и компактностью конструкции, широким использованием стандартизованных деталей, возможностью получения сравнительно больших сил  $P_3$  при небольшой силе на приводе, быстродействием (время срабатывания около 2 с) и др. (рис. 6.2). Однако имеется ряд недостатков этого ЗМ: не

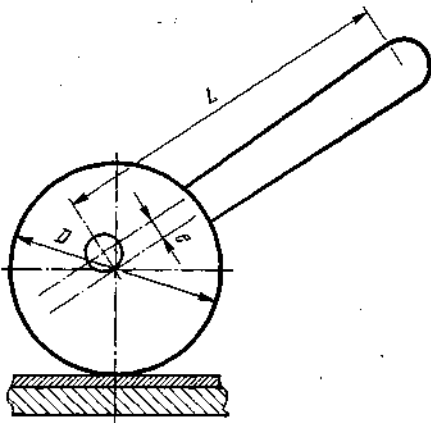


Рис. 6.2. Эксцентриковый зажимный механизм

рекомендуются для закрепления жестких изделий, сила закрепления нестабильна, пониженная надежность из-за интенсивного изнашивания эксцентриковых кулачков. В состав эксцентриков зажимных механизмов входят эксцентриковые кулачки, опоры под них, цапфы, рукоятки и другие элементы. Существуют различные типы эксцентриковых кулачков: круглые, одиночные и двойные, вильчатые, двухопорные.

Рассчитывают эксцентриковые механизмы в таком порядке:

определяют ход эксцентрика (эксцентриситет  $e$ );

подбирают стандартный эксцентриковый кулачок (диаметр  $D$ , ширину и др.);

определяют длину  $L$  рукоятки и другие элементы ЗМ.

**Рычажные и рычажно-шарнирные зажимные механизмы.** Эти зажимы позволяют при относительной простоте получить значительный выигрыш в силе (или в перемещениях), обеспечить постоянство  $P_3$  вне зависимости от размеров закрепляемой поверхности, осуществить закрепление в труднодоступном месте. Однако эти ЗМ не рекомендуются для непосредственного закрепления жестких заготовок и не обладают свойством самоторможения. Как пра-

вило, рычажные ЗМ применяют с другими — клиновыми, клиноплунжерными, эксцентриковыми, а также с механизированными приводами.

**Центрирующие установочно-зажимные механизмы.** Эти устройства применяют для установки и закрепления изделий по наружным и внутренним цилиндрическим поверхностям. К ним относят патроны (кулачковые, цанговые, клиноплунжерные, клиношариковые, мембранные) и другие устройства.

Сокращение времени зажима, облегчение труда рабочих, создание более стабильных сил зажима обеспечивает замена ручных приводов зажимных механизмов на механизированные и автоматизированные. Наибольшее распространение получили пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электромеханические и другие приводы.

**Пневматические приводы.** По сравнению с гидравлическими пневмоприводы обладают рядом преимуществ: простота конструкции и арматуры, отсутствие автономного источника давления (на большинстве предприятий имеется линия сжатого воздуха 0,3...0,6 МПа), большее быстроедействие и др. Однако пневмоприводы не обеспечивают силу на штоке более 10 кН. Основным элементом пневмопривода является пневмоцилиндр поршневого или мембранного типа. Стационарные поршневые пневмоцилиндры двустороннего действия с односторонним штоком, с диаметром цилиндра 25...400 мм развивают силу на штоке 2,4...73,7 кН при давлении воздуха 0,6 МПа. В приспособлениях применяют встраиваемые пневмоцилиндры с диаметром цилиндра 63...250 мм (усилие на штоке 1,55...27,8 кН).

При расчете пневмоприводов по известной необходимой силе зажима  $P_3$  определяют диаметр поршневого цилиндра  $D$  и другие конструктивные параметры (рис. 6.3).



Для пневмоцилиндра одностороннего действия

$$D = \sqrt{4(P_3 + P_0 + jS) / \pi p} = 1,13 \sqrt{(P_3 + P_0 + jS) / p};$$

двустороннего действия

$$D = 1,13 \sqrt{P_3 / p},$$

где  $P_0$  — сила предварительного натяжения пружины, Н;  $I$  — жесткость пружины, Н/мм;  $S$  — ход поршня, мм;  $p$  — избыточное давление сжатого воздуха, МПа.

Расчетный диаметр  $D$  цилиндра округляют до ближайшего большего стандартного значения (25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320 мм) и определяют другие конструктивные параметры пневмопривода.

При небольших ходах штока применяют более простые по конструкции мембранные пневмоцилиндры (пневмокамеры) с резиновыми и резинотканевыми мембранами диаметром 125...400 мм и силой на штоке 3,5...42 кН.

**Гидравлические приводы.** По сравнению с пневматическими гидроприводы благодаря возможности использования рабочей жидкости под большим давлением (до 15 МПа) требуют меньших диаметров цилиндров, что уменьшает габаритные размеры и массу привода. Последний состоит из двух элементов: источника подачи масла и гидродвигателя. В качестве источника подачи масла применяют ручные рычажные, плунжерные и винтовые насосы (одно- или двухступенчатые, с цилиндрами низкого или высокого давления), а также шестеренные, лопастные или плунжерные насосы.

Диаметр цилиндра  $D$  при заданном значении силы на штоке  $P_{ш}$ , давлении жидкости  $p_{ж}$  определяют из выражений:

$$D = 2 \sqrt{P_{ш} / \pi p_{ж} \eta} \text{ для цилиндров двустороннего действия,}$$

где  $\eta = 0,9 \dots 0,97$  — КПД привода;

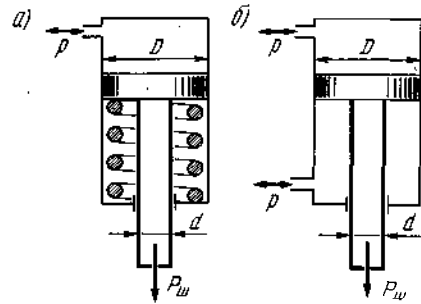


Рис. 6.3. Схемы поршневых пневматических и гидравлических цилиндров одностороннего (а) и двустороннего (б) действия

$D = 2 \sqrt{(P_{ш} + P_{п}) / \pi p_{ж} \eta}$  для цилиндров одностороннего действия,

где  $P_{п}$  — сила сопротивления возвратной пружины в крайнем рабочем положении поршня, Н.

По расчетному диаметру цилиндра принимают ближайший больший стандартный размер (40, 50, 63, 80, 100 мм) и определяют другие конструктивные параметры гидропривода.

Кроме рассмотренных механизированных приводов, применяются и другие: пневмогидравлические, вакуумные, магнитные, электромагнитные, электромеханические и др., а также комбинированные приводы, состоящие из комплекта различных видов приводов.

Для исключения времени на закрепление и открепление изделия в станочных приспособлениях их автоматизируют. Это достигается применением зажимов, приводимых в действие механизмом подачи станка (сверлильные, расточные и др.) или силами резания (токарные, сверлильные и др.). Кроме того, применяют силовые узлы с пневматическими, гидравлическими, электрическими и другими приводами с установкой автоматических кранов, золотников, путевых или конечных выключателей, связанных с механиз-

мами подачи, столами, шпинделями, распределительными механизмами и другими перемещающимися устройствами станков.

### 6.2.4. Вспомогательные элементы и корпуса

Вспомогательные устройства и элементы — это поворотные и делительные устройства с дисками и фиксаторами (для деления окружности на заданное число частей), выталкивающие устройства, подъемные механизмы, быстродействующие защелки, тормозные устройства, шпильки, сухари, рукоятки, ручки, пресс-масленки, маховички, крепежные и другие детали

Корпусы приспособлений служат для монтажа всего комплекта элементов и установки приспособления на оборудование. Корпусы должны обладать необходимой прочностью, жесткостью, износо- и виброустойчивостью, надежностью, долговечностью и технологичностью в изготовлении. У переналаживаемых приспособлений корпусы должны допускать быструю реализацию новых компоновок. Корпусы изготавливают цельными (литыми из чугуна и сплавов цветных металлов) и сборными путем сварки или сборки из элементов (рис. 6 4) Сборные

корпусы технологичнее и дешевле, но обладают пониженной жесткостью, для повышения которой применяют ребра жесткости и др. Для изготовления сборных корпусов применяют разного типа плиты, коробки, квадратные корпуса, швеллеры с ребрами, двутавры, переходные фланцы, стойки, угольники, ребра и др.

Для установки и закрепления корпусов приспособлений на станках основания корпусов имеют пазы или ушки с пазами для крепежных болтов с квадратными или прямоугольными головками, вводимыми в Т-образные пазы стола станка. Быстрая и точная установка приспособления на столе станка обеспечивается при помощи направляющих шпонок, вводимых в Т-образный паз стола станка.

## 6.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИИ

### 6.3.1. Стадии проектирования

Процесс проектирования приспособлений в определенном порядке включает следующие этапы.

1. Изучение чертежа изделия, содержания и структуры технологической операции, схем и поверхностей базирования, закрепления и наладки, характеристик и конструк-

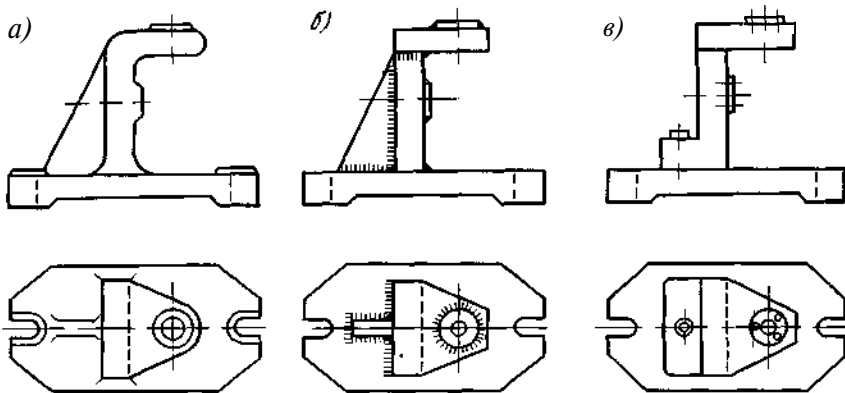


Рис 6 4 Технологические варианты конструкции корпусов приспособления  
а — литой, б — сварной, в — сборный

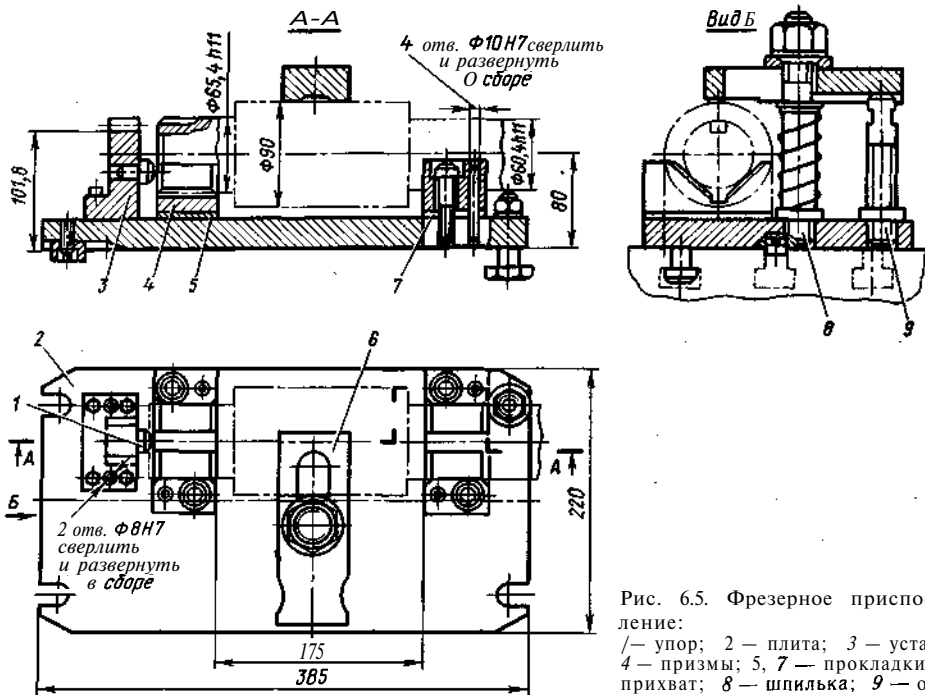


Рис. 6.5. Фрезерное приспособление:  
 1 — упор; 2 — плита; 3 — установ;  
 4 — призмы; 5, 7 — прокладки; 6 —  
 прихват; 8 — шпилька; 9 — опора

тивных особенностей станка, на котором планируется обработка. Учет типа производства, характеристик поверхностей, обрабатываемых в проектируемом приспособлении.

2. Обзор и анализ существующих конструкций, используемых для аналогичных работ. Уточнение схемы базирования и закрепления. Расчет сил резания и зажима. Выбор места приложения зажима, определение и выбор типа и размеров установочных элементов, их числа и взаимного положения. Выбор типа зажимного механизма и его привода и определение его основных параметров с учетом заданного времени на установку, закрепление и снятие изделия после его обработки.

3. Установление и выбор типа и размеров элементов для направления и контроля положения режущего инструмента.

4. Установление и выбор конструкции и размеров вспомогательных элементов и устройств, корпуса приспособления.

5. Эскизная разработка вариантов общего вида приспособления путем последовательного нанесения элементов приспособления (установочных, зажимных, направляющих для инструмента, вспомогательных) вокруг контура детали, нанесенного в трех проекциях посередине листа соответствующего формата. Вычерчивание корпуса приспособления, объединяющего все элементы конструкции. Выбор оптимального варианта конструкции.

6. Уточнение и отработка выбранного варианта конструкции. Составление кинематической, электрической и других схем. Выполнение необходимых расчетов — силовых, прочности и жесткости элементов, точности обработки детали на данном приспособлении и др. Графическое оформление приспособления по ЕСКД (общий вид или сборочный чертеж — рис. 6.5).

7. Выполнение технико-экономических расчетов целесообразности и эффективности применения (модернизации, замены) приспособления.

### 6.3.2. Расчет точности приспособления

В общем случае расчет точности состоит из следующих стадий: выбор расчетного параметра (или нескольких), оказывающего влияние на положение и точность обработки заготовки; принятие последовательности расчета и составление размерных цепей; определение точности приспособления (замыкающего звена) по выбранному параметру; распределение полученного значения допуска приспособления (допуска замыкающего звена) между допусками составляющих звеньев—деталей приспособления; выбор методов обеспечения точности сборки элементов приспособления и разработка технических требований на сборку (с указанием их на сборочном чертеже или чертеже общего вида).

Точность приспособления рассчитывают путем решения размерных цепей. Сначала обратной, затем прямой задачи. При решении обратной задачи определяют номинальное значение и допуск замыкающего звена, в качестве которого принимают размер, связывающий поверхность установки приспособления на столе станка с поверхностью установки детали в приспособлении. При решении прямой задачи найденное значение допуска замыкающего звена распределяется между составляющими звеньями второй размерной цепи, в качестве которых служат соответствующие размеры (допуски) деталей приспособления.

В качестве расчетных параметров принимают номинальное значение и допуски линейных и угловых размеров, отклонения от параллельности, перпендикулярности и соосности осей и поверхностей и т. п. При этом направление параметра (вертикальное, горизонтальное, угловое и др.) должно совпадать с направлением выполняемого при обработке размера.

Расчет погрешности приспособления  $\epsilon_{пр}$  основывается на положении, что общая погрешность обработки  $\epsilon_0$  не должна превышать допуск  $\delta$  выполняемого размера, т. е.  $\epsilon_0 \leq \delta$  и  $\epsilon_{пр} \leq \delta - \epsilon_0$ . Подставив составляющие общей погрешности обработки БО, получим

$$\epsilon_{пр} \leq \sigma - K \sqrt{K_1^2 \epsilon_6^2 + \epsilon_3^2 + \epsilon_y^2 + \epsilon_n^2 + \epsilon_0^2 + K_2^2 \omega^2},$$

где  $K$  — коэффициент, учитывающий отклонение рассеяния значений составляющих звеньев от закона нормального распределения ( $K=1..1,2$  в зависимости от количества значимых слагаемых),  $K_1$  — коэффициент, учитывающий уменьшение предельного значения погрешности базирования  $\epsilon_6$  при работе на настроенных станках ( $K_1=0,8..0,85$ ),  $K_2$  — коэффициент, учитывающий долю погрешности обработки в  $\sigma_0$ , вызываемой факторами, не зависящими от приспособления ( $K_2=0,6..0,8$ );  $\epsilon_3$  — погрешность закрепления;  $\epsilon_y$  — погрешность установки приспособления на станке,  $\epsilon_n$  — погрешность положения детали из-за изнашивания установочных элементов;  $\epsilon_0$  — погрешность от перекоса инструмента;  $\sigma_0$  — средняя экономическая точность обработки (из справочных таблиц).

### 6.3.3. Экономическая эффективность приспособлений

Экономия при применении приспособления возникает, главным образом, от сокращения трудоемкости обработки (контроля, сборки, испытания) изделия. Технико-экономический анализ принятого варианта конструкции выполняется в соответствии с действующей типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений путем определения годового экономического эффекта и срока окупаемости капитальных вложений.

Производится расчет и сопоставление удельных капитальных вложений и себестоимости единицы

продукции до и после реализации принятой конструкции.

В расчетах экономической эффективности применения отдельного приспособления следует использовать метод расчета по фактическим годовым затратам на оснащение без учета отдачи капитальных вложений, так как они для одного приспособления незначительны.

### **6.3.4. Автоматизированное проектирование приспособлений**

Автоматизированное проектирование приспособлений представляет собой часть общей системы авто-

матизированного решения задач технологической подготовки производства и осуществляется на основе структуры и информационной модели системы технологической подготовки производства. Автоматизированное проектирование основано на стандартизации и унификации конструкций приспособлений и их составных частей и производится в следующей последовательности: формализация задачи; сбор и анализ исходных данных, установление состава входной и выходной информации; разработка алгоритмов и программы; отладка программы и решение контрольных примеров, опытная проверка и внедрение программы.

## **Глава 7**

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ**

#### **7.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ИХ РАЗРАБОТКИ**

Обычно выделяют следующие виды технологических процессов (ТП): единичный, типовой и групповой. *Единичный* ТП — это процесс изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства. *Типовой* ТП — это процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. *Групповой* ТП — это процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

Разрабатываемый технологический процесс вне зависимости от вида должен быть прогрессивным, т. е. учитывать последние достижения науки и техники, позволяющие повысить качество изделия, сократить трудоемкость и себестоимость изготовления.

Исходная информация для разработки ТП делится на базовую, руководящую и справочную. К *базо-*

*вой* относится информация, содержащаяся в конструкторской документации на изделие, и программа выпуска изделий. К *руководящей* можно отнести информацию, содержащуюся в государственных и отраслевых стандартах, производственных инструкциях и указаниях вышестоящих организаций, материалы по выбору технологических нормативов и т. п. К *справочной* относится информация, содержащаяся в справочниках, каталогах, паспортах оборудования, альбомах компоновочных решений, описаниях прогрессивных методов изготовления и ремонта и т. п.

#### **7.2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Выбор основных этапов и задач зависит от метода, вида ТП и конкретных условий производства. В общем случае для обработки, например, резанием можно предложить следующую последовательность этапов и задач.

1. Анализ исходных данных. В этот этап включают предварительное ознакомление с назначением и конструкцией изготавливаемого изделия, обработку изделия на технологичность, определение количественных характеристик выпуска изделия.

2. Выбор действующего типового, группового технологического процесса или поиск аналога единичного процесса. На этом этапе изделие оформляется по технологическому классификатору, по коду изделие относят к действующему типовому, групповому или единичному ТП.

3. Выбор исходной заготовки и методов ее изготовления. Определяется вид исходной заготовки (или уточняется заготовка, установленная типовым ТП), разрабатывается технико-экономическое обоснование выбора исходной заготовки.

4. Выбор технологических баз. Выявляются основные конструкторские базы, выбираются черновые и чистовые технологические базы.

5. Составление технологического маршрута обработки. Определяется последовательность технологических операций (или уточняется последовательность операций по типовому или групповому ТП). Определяются группы и типы технологического оборудования.

6. Разработка технологических операций. Определяется (или уточняется) число и последовательность рабочих ходов и переходов, происходящих на каждую поверхность и деталь в целом. Предварительно выбираются средства технологического оснащения (СТО). Определяются межоперационные припуски и допуски, режимы резания, нормы времени на обработку, разряд работ и себестоимость операций. Окончательно выбираются СТО.

7. Расчет экономической эффективности ТП для выбора оптимального варианта.

8. Оформление технологических процессов.

Рассмотрим этапы и задачи более подробно. Часть из этих этапов и задач была подробно рассмотрена в предыдущих главах, поэтому остановимся только на тех, которые не рассмотрены.

### 7.2.1. Определение количественных характеристик

К количественным характеристикам относят объем выпуска, производственной партии и задела.

Объем выпуска деталей (сборочных единиц)

$$N_d = N_m m [1 + (\alpha + \beta) / 100],$$

где  $N_m$  — годовая программа выпуска изделий (машин);  $m$  — число одноименных деталей в одном изделии;  $\alpha$  — доля деталей, изготавливаемых в запасные части, %;  $\beta$  — доля возможного брака, %.

Производственная партия  $P$  определяется для условий серийного производства по разным зависимостям. Очень часто партию определяют по полуэмпирическим зависимостям, не раскрывающих сущности формирования объема партии. В частности, достаточно широкое распространение получила зависимость.

$$P = Nt / (T_{\phi} y),$$

где  $t$  — время пролеживания деталей на складе (принимается в зависимости от типа производства и габаритных размеров детали);  $T_{\phi}$  — число рабочих дней в году;  $y$  — число смен работы цеха.

Более правильно определять объем партии по модели управления запасом. Такая модель полностью раскрывает механизм формирования партии. Для механических цехов наиболее полно удовлетворяет модель с мгновенным восполнением запаса (рис. 7.1) через определенные равные промежутки времени. Целевая функция этой модели

$$C = \frac{C_{\text{тр}} N}{P} + C_u N_d + \frac{C_{\text{хрг}} P}{2} + \frac{C_{\text{нал}} N}{P},$$

где  $C$  — годовая себестоимость изготовления детали;  $C_{тр}$  — годовые затраты на транспортирование одной детали;  $C_{ц}$  — цеховая себестоимость изготовления детали без транспортных затрат на перемещение детали, без стоимости хранения и без стоимости наладки станков;  $C_{хр}$  — стоимость хранения одной детали на складе в течение года;  $C_{нал}$  — стоимость одной наладки станка.

Взяв производную по  $P$ , определим объем партии:

$$\frac{dc}{dP} = -\frac{C_{тр} N_d}{P^2} + \frac{C_{хр}}{P} - \frac{C_{нал} N_d}{P^2} = 0,$$

откуда

$$P = \frac{\sqrt{2N_d(C_{тр} + C_{нал})}}{C_{хр}}.$$

Задел может определяться для любого типа производства, но наиболее важно его иметь в массовом производстве при обработке заготовок на автоматических линиях. Объем задела определим из условия отказа одного станка  $A$  (рис. 7.2), который приводит к остановке другого станка  $B$ .

Для решения этой задачи введем следующие обозначения:

$z$  — объем, задела между станками  $A$  и  $B$ ,  $\mu$  — среднее время между выходами из строя станка  $A$ ;  $T$  — продолжительность неисправного состояния станка  $A$ ;  $f(\tau)$  — плотность вероятности распределения  $T$ ;  $C_{пр}$  — стоимость простоя станка  $B$  в единицу времени,  $C_{хр}$  — затраты на содержание в запасе единицы продукции за единицу времени,  $n$  — число заготовок, потребное станку  $B$  в единицу времени

Простой станка  $B$  вследствие выхода из строя станка  $A$  можно определить из зависимости

$$T = \begin{cases} 0, & \text{если } z \geq n\tau, \\ -\sqrt{z}, & \text{если } z < n\tau. \end{cases}$$

Ожидаемые издержки  $Ц$  вследствие выхода из строя станка  $A$

$$Ц = C_{пр} \int_{z/n}^{\infty} \left( \tau - \frac{z}{n} \right) f(\tau) d\tau. \quad (7.1)$$

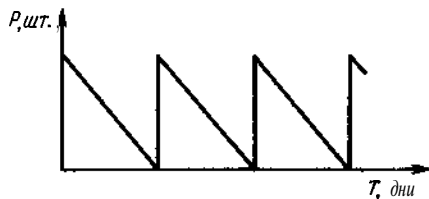


Рис. 7.1. График управления запасами

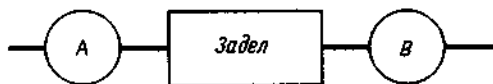


Рис. 7.2. Схема модели работы станков с запасом

Суммарные издержки  $C_{\Sigma}$  в единицу времени

$$C_{\Sigma} = C_{хр} z + \frac{C_{пр}}{\mu} \int_{z/n}^{\infty} \left( \tau - \frac{z}{n} \right) f(\tau) d\tau.$$

При этом

$$\frac{dC_{\Sigma}}{dz} = C_{хр} - \frac{C_{пр}}{\mu n} \int_{z/n}^{\infty} f(\tau) d\tau.$$

Обозначим  $F(\tau)$  интегральную функцию распределения  $T$

$$F(\tau) = \int_{-\infty}^{\tau} f(\tau) d\tau.$$

Тогда

$$\int_{z/n}^{\infty} f(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) d\tau - \int_{-\infty}^{z/n} f(\tau) d\tau = 1 - F(z/n).$$

Таким образом, вероятность объема задела удовлетворяет условию

$$F(z/n) = 1 - n\mu C_{хр} / C_{пр}. \quad (7.2)$$

Заметим, что при  $n\mu C_{хр} > C_{пр}$  необходимость в содержании задела отпадает.

Пример. Дано  $\mu = 16$  ч;  $f = 0,5$  ч — среднее время простоя; продолжительность простоя распределена по экспоненциальному закону

$$f(\tau) = \begin{cases} 0 & \text{при } \tau < 0, \\ 2 \exp(-2\tau) & \text{при } \tau \geq 0. \end{cases}$$

В таком случае

$$T = \begin{cases} 0, & \text{если } z \geq 20\tau, \\ \tau - \frac{z}{20}, & \text{если } z < 20\tau. \end{cases}$$

Ожидаемые затраты

$$C = 40 \int_{z/20}^{\infty} \left( \tau - \frac{z}{n} \right) 2e^{-2\tau} d\tau.$$

$$F(z/20) = 1 - \frac{20 \cdot 16 \cdot 0,001}{40} = 0,992.$$

Следовательно,

$$\int_0^{z/20} 2e^{-2\tau} d\tau = 0,992,$$

откуда

$$\int_{z/20}^{\infty} 2e^{-2\tau} d\tau = e^{-2(z/20)} = 0,008;$$

$$-2z/20 = \ln 0,008 = -4,829.$$

### 7.2.2. Оформление технологического кода по классификатору

Рабочий чертеж детали имеет конструкторский код, структура которого предусматривает код организации разработчика, код классификационной характеристики и порядковый регистрационный номер. Классификационная характеристика имеет пять уровней деления: класс, подкласс, группа, подгруппа, вид.

Технолог, основываясь на технологическом классификаторе, формирует технологический код детали. Технологический код оформляется отдельно для различных методов обработки (литье,ковка и горячая штамповка, холодная штамповка, обработка резанием, термическая обработка). Полимерные материалы и детали с покрытием имеют свой технологический классификатор.

Технологический классификатор включает в себя вид детали по технологическому процессу, размерную характеристику, группу материала, вид исходной заготовки, качество точности наружных и внутренних поверхностей, шероховатость наружной поверхности, характеристику

зубчатого зацепления, характеристику термической обработки и весовую характеристику.

Общая схема конструкторско-технологического кода обработки резанием, за исключением кода организации разработчика и порядкового номера, имеет 20-значную структуру: 6 знаков — код конструкторской классификации и 14 знаков — код технологической классификации.

### 7.2.3. Определение последовательности операций по типовому или групповому процессу

На этом этапе разработки технологического процесса последовательность операций принимается на основе технологической практики или с помощью ЭВМ при наличии системы САПР. Технологические маршруты весьма разнообразны и зависят от множества факторов. Не делая подробного выбора маршрута, приведем только основные рекомендации:

- на первой операции обрабатываются технологические базы;

- поверхности, имеющие большие припуски и напуски, обрабатываются в начале технологического процесса. Поверхности, по которым возможен технологический брак, также обрабатываются в начале технологического процесса;

- чем выше точность обработки и ниже шероховатость поверхности, тем позже она обрабатывается в общей последовательности технологического процесса;

- черновую обработку, как правило, не совмещают с чистовой. Исключения составляют детали, обладающие достаточной жесткостью и не требующие высокой точности обработки;

- поверхности, имеющие жесткие требования к пространственным отклонениям, обрабатываются с одного станка;

- отжиг, нормализация и улучшения как способы улучшения обра-



батьваемости могут применяться перед обработкой резанием, но улучшение часто применяется после черновой обработки резанием. Отжигу подвергаются заготовки из высокоуглеродистых конструкционных сталей и сварные;

термическая и химико-термическая обработка для улучшения эксплуатационных свойств детали (цементация, азотирование, закалка и отпуск) обычно применяется перед различной абразивной обработкой, закалка ТВЧ — перед чистовой абразивной обработкой.

#### 7.2.4. Определение рабочих ходов и переходов на каждую поверхность и деталь в целом

Число рабочих ходов и переходов зависит от точности готовой детали, точности и метода получения заготовки, припуска, оборудования, опыта технолога и др. С учетом всех факторов, основываясь на собственном опыте и таблицах экономической точности, технолог назначает окончательный и первоначальный способ обработки поверхности. В дальнейшем определяются промежуточные переходы, которые необходимо провести, чтобы окончательный способ обработки мог обеспечить требуемую точность и шероховатость. Аналогично определяются рабочие ходы и переходы на остальные поверхности. При определении числа переходов на различные поверхности технолог стремится к концентрации операции, т. е. чтобы большинство поверхностей обрабатывалось одним и тем же методом и на одном и том же оборудовании. В то же время технолог должен учитывать, что чрезмерная концентрация не всегда приводит к повышению производительности труда и снижению себестоимости обработки. Так, например, резьбу часто целесообразнее нарезать на резьбонарезных станках, чем на токарных.

На этом этапе не производится еще расчет режимов резания и норм времени на обработку. В то же время необходимо помнить, что определенные числа рабочих ходов и переходов — задача инвариантная и наиболее правильное решение ее можно получить с помощью ЭВМ. Для такого решения необходимо иметь алгоритм, знать режимы резания, нормы времени и себестоимость обработки. Поэтому данную задачу с помощью ЭВМ можно решать и после нормирования операции.

#### 7.2.5. Определение режимов резания

К режимам резания относят глубину резания  $t$ , подачу  $s$  и скорость  $v$ , которая зависит от  $t$  и  $s$ , и рассчитывается в основном по эмпирической формуле

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} K_{\Sigma},$$

где  $C_v$  — коэффициент, зависящий от материала реза и режима резания;  $T$  — стойкость инструмента, т. е. время работы инструмента до затупления;  $K_{\Sigma}$  — суммарный поправочный коэффициент, зависящий от материала заготовки и условий обработки;  $m$ ,  $x_v$ ,  $y_v$  — эмпирические показатели степени (принимаются по справочным таблицам).

Стойкость инструмента оказывает значительное влияние на производительность и себестоимость обработки. Стойкость рассчитывают или принимают по нормативным данным. Для многоинструментальной и многостаночной обработки стойкость инструмента увеличивают. Степень увеличения зависит от числа одновременно работающих инструментов, их загрузки и числа одновременно работающих станков. После определения стойкости инструмента выбирают режимы резания. С увеличением режимов резания стойкость снижается. Наименьшее влия-

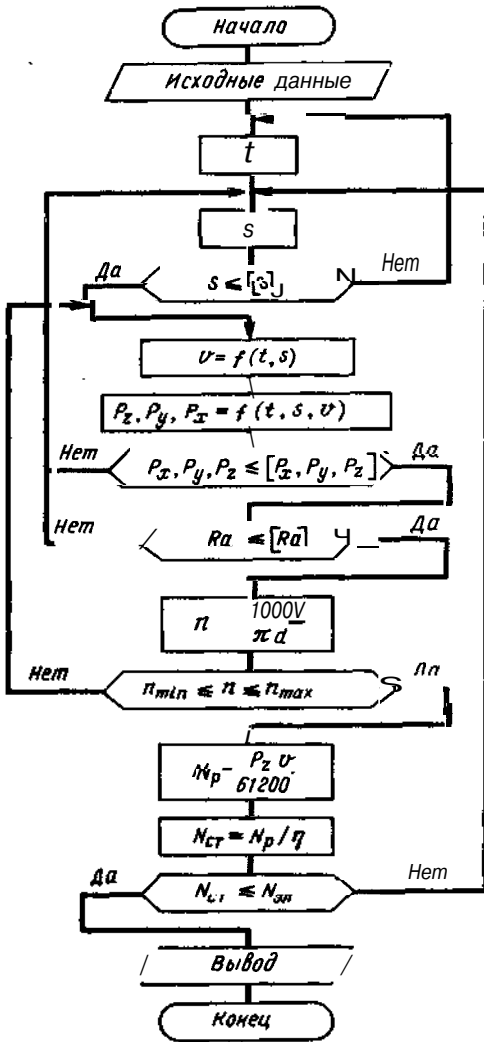


Рис. 7.3. Блок-схема алгоритмов выбора режимов резания:

$n$  — частота вращения, об/мин;  $d$  — диаметр обработки;  $v$  — скорость резания, м/мин;  $n_{\min}$ ,  $n_{\max}$  — предельные частоты вращения шпинделя,  $N_p$ ,  $N_{ст}$ ,  $N_{зд}$  — соответственно мощности резания, потребляемая мощность станка и действительная мощность электродвигателя шпинделя, кВт;  $\eta$  — КПД коробки передач. Параметры в квадратных скобках — предельно допустимые

ние на стойкость имеет глубина резания, наибольшее — скорость. Поэтому при постоянной стойкости выбор режимов резания производят в последовательности  $t$ ,  $s$ ,  $v$ .

Стремясь к повышению производительности труда, технолог выби-

рает максимальную глубину резания и подачу. Лимитирующими при таком выборе являются силовые факторы при черновой обработке и точностные при чистовой. Если рассмотреть формулу производительности механической обработки

$$П = vst = C' t^{1-x_v} s^{1-y_v},$$

то увидим, что на производительность максимальное влияние оказывает глубина резания, так как почти всегда  $x_v < y_v$  (за исключением поперечного точения и поперечного шлифования, когда  $x_v = y_v$ ). Следовательно, при выборе режимов резания предпочтение отдается глубине. По глубине и подаче рассчитываются скорость резания, частота вращения или число двойных ходов стола за 1 мин, силы резания и мощность резания. В общем случае последовательность выбора режимов резания можно представить в виде следующей укрупненной блок-схемы (рис. 7.3).

## 7.2.6. Определение норм времени на обработку

Определение норм времени зависит во многом от типа производства. В условиях массового и крупносерийного производства их устанавливают по нормативам в сочетании с широким использованием экспериментальных исследований на рабочих местах. В серийном производстве норма определяется в основном по расчетным нормативам. В единичном и мелкосерийном широко применяется нормирование на уровне укрупненных трудовых приемов или операций в целом.

Единицей измерения нормы времени является штучно-калькуляционное время на операцию

$$T_{шк} = T_o + T_b + T_{обс} + T_{от} + T_{пт} + \frac{T}{r},$$

где  $T_o$  — основное время;  $T_b$  — вспомогательное время;  $T_{обс}$  — время обслуживания рабочего места;  $T_{от}$  — время

на отдых исполнителя;  $T_{п\tau}$  — время перерывов по организационно-техническим причинам;  $T_{пз}$  — время подготовительно-заключительной работы;  $P$  — объем партии деталей.

При нормировании станочных работ время перерывов по организационно-техническим причинам часто не учитывают, поэтому

$$T_{штк} = (T_o + T_b) \left( 1 + \frac{K_1 + K_2}{100} \right) + \frac{T_{пз}}{P} = \\ = T_{оп} \left( 1 + \frac{K_1 + K_2}{100} \right) + \frac{T_{пз}}{P} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{P}$$

где  $K_1$  и  $K_2$  — коэффициенты, учитывающие затраты времени на обслуживание рабочего места и отдых, % от оперативного времени  $T_{оп}$ ;  $T_{шт}$  — штучное время.

Основное время определяют на каждый переход, после чего время всех переходов суммируют:

$$T_o = \frac{L}{sn} i; \quad L = l + l_1,$$

где  $L$  — расчетная длина обработки в направлении подачи;  $l$  — длина обработки по чертежу;  $l_1$  — дополнительная длина на врезание и перебеги инструмента;  $i$  — число рабочих ходов;  $s$  — подача на один оборот детали (сверла, фрезы); и — частота вращения детали (сверла, фрезы), об/мин;

$$T_b = t_{уст} + t_{пер} + t_{кн},$$

где  $t_{уст}$  — время на установку и снятие детали;  $t_{пер}$  — время, связанное с выполнением технологического перехода (управление станком, смена инструмента);  $t_{кн}$  — время на выполнение контрольных операций.

**Особенности нормирования работ на станках с ЧПУ.** Здесь основное время и время, связанное с переходом, составляют одну величину  $T_a$  — время автоматической работы станка по программе. Норма штучного времени на операцию в этом случае:

$$T_{шт} = (T_a + T_b K_{сер}) \left( 1 + \frac{K_1 + K_2}{100} \right); \\ T_a = T_{о.а} + T_{в.а}; \quad K_{сер} = 4,17 [(T_a + \\ + n_d)P + T_{пз}]^{-0,216}$$

где  $T_{о.а}$  — основное («автоматическое») время;  $T_{в.а}$  — вспомогательное время станка по программе;  $T_b$  — время вспомогательной ручной работы, не перекрываемое временем автоматической работы станка;  $K_{сер}$  — поправочный коэффициент.

Автоматизация процесса обработки создает предпосылки для многостаночного обслуживания.

**Особенности нормирования работ при многостаночном обслуживании.** Предварительно определяют норму обслуживаемых станков одним человеком

$$n_1 = 1 + t_m/t_p,$$

где  $t_m$  — машинное время работы станка без участия человека;  $t_p$  — время однократной занятости рабочего на одном станке.

Если имеет место не циклический процесс,  $n_1$  определяют по справочным таблицам или определяют для  $(t_m + t_p) \rightarrow \max$ . Правильность выбора проверяют по коэффициентам занятости рабочего  $K_3$  и использования станка. Первый определяют из условия, что рабочий не должен быть занят больше продолжительности смены за вычетом времени на отдых и личные надобности, т. е.

$$K_3 \leq K_{3н}; \quad K_3 = \frac{t-1}{T_{см}}; \quad K_{3н} = 1 - \frac{T_{от}}{T_{см}},$$

где  $K_{3н}$  — нормативный коэффициент занятости.

Коэффициент использования одного станка по машинному времени  $K_n$  определяют из условия выполнения программы с учетом затрат на оборудование и рабочих, т. е.

$$K_n \geq K_{нн}; \quad K_n = \frac{n_p}{n_c}; \quad n_{пн} = \frac{j}{\Phi_p},$$

где  $K_{нн}$  — нормативный коэффициент использования одного станка, определяемый для всей совокупности станков,

для которых рассчитываются нормы многостаночного обслуживания;  $n_p$  — среднее число станков в состоянии машинной работы, необходимое для выполнения производственной программы;  $n_c$  — число станков, для которых определяется многостаночное обслуживание;  $\Phi_p$  — фонд времени одного станка в плановом периоде.

Если принята норма обслуживания  $n_c \geq n_1$ , то  $K_3 = 1$ ;  $n_p = n_1 - 1 = t_w/t_p$ . Если  $n_c < n_1$ , то  $K_3 = n_c/n_1$ ;  $n_p = t_w n_c / (t_p n_1)$ . Коэффициент занятости рабочего  $K_3$  необходимо понизить до нормативного путем включения в рабочий процесс подменных рабочих. Оптимальный вариант должен для действующего производства соответствовать минимуму затрат

$$Z = 2 \sum_i m_i Z_i \longrightarrow \min,$$

где  $m_i$  — число рабочих (операторов, наладчиков и т. п.), занятых многостаночным обслуживанием;  $Z_i$  — затраты на одного рабочего.

Параметр  $Z_i$  зависит от нормы времени:

$$H_a = \frac{m T_a}{n}; \quad T_d = t_{оп м} \left( 1 + \frac{K_1 + K_2}{100} \right) + \frac{T_{нз}}{p},$$

где  $T_d$  — длительность изготовления единицы продукции на одном станке;  $t_{оп м}$  — длительность оперативного времени в условиях многостаночной работы:

$$t_{оп м} = \frac{t_w}{K_n} = \frac{(t_w + t_p)(1 - K_3)}{K_n};$$

$$K_3 = \frac{t_w}{t_w + t_p}.$$

В общем виде

$$Z_i = H_a K_T K_n, \quad (7.3)$$

где  $K_T$  — тарифный коэффициент (принимается в зависимости от разряда работ);  $K_n$  — коэффициент, учитывающий значение приработки, доплат, премий и начислений.

## 7.2.7. Определение технологической себестоимости операции

Технологическая себестоимость операции

$$C_{оп} = C_{зп} + C_a + C_p + C_{пр} + C_{эл} + C_{ц},$$

где  $C_{зп} = T_{шк} K_T K_n$  — затраты, связанные с заработной платой основного рабочего;  $C_a$  — затраты, связанные с амортизацией оборудования;  $C_p$  — затраты на ремонт оборудования;  $C_{пр}$  — затраты на амортизацию и ремонт приспособлений;  $C_{эл}$  — затраты на силовую электроэнергию,  $H_{ц}$  — косвенные цеховые неучтенные расходы,  $K_T$ ,  $K_n$  — коэффициенты, аналогичные коэффициентам в формуле (7.3).

Для некоторых станков существуют справочные таблицы стоимости 1 станко-ч ( $C_{стч}$ ). В этом случае стоимость операции можно определить по упрощенной формуле  $C_{оп} = C_{стч} T_{шк} / 60$ . Этот способ определения себестоимости операции менее точный.

## 7.2.8. Окончательный выбор СТО

При предварительном выборе СТО учитываются технические требования, предъявляемые к оборудованию, т. е. точность, производительность и др. При окончательном выборе, кроме технических требований, необходимо учитывать экономические факторы. Выбор экономических критериев зависит от производственной ситуации.

Ситуация первая — для изготовления детали необходимо приобрести оборудование. В этом случае экономическим критерием выступают минимальные приведенные затраты  $Z_{пр} = C_{оп} N + E_n K$ .

Ситуация вторая — деталь закрепляется за имеющимся оборудованием, ресурс станков не ограничен. Экономическим критерием выступает минимальная себестоимость операции.

Ситуация третья — одновременно в производство запускается несколько деталей, которые могут обрабатываться на однотипных станках.

**Форма 71 Распределение деталей по станкам**

Деталь	P	Станок А			Станок В			Станок С			Станок D		
		$T_{шк}$	$I$	$T$	$T_{шк}$	$I$	$T$	$T_{шк}$	$I$	$T$	$T_{шк}$	$I$	$T$
I	600	10	1,43	100	15	2,14	150	12	1,71	120	7	1	70
II	1200	5	1	100	10	2	200	11	2,20	220	6	1,2	120
III	300	5	1,25	25	7	1,75	35	10	2,50	50	4	1	20
IV	450	10	1,25	75	12	1,50	90	15	1,87	67,5	8	1	60
R			80			150			250			100	
3			75			—			220			90	

Обозначения  $P$  — объем партии,  $T_{шк}$  — штучно-калькуляционное время на изготовление одной детали, мин,  $I$  — индикаторная оценка,  $T = T_{шк}P/60$  — время на выполнение заказа (партии  $P$ ), ч,  $R$  — ресурс станка, ч,  $3$  — использованное время станка, ч

Ресурс станков ограничен. В этой ситуации выбор станков можно производить по максимальной производительности или максимальной прибыли. Вместо критерия «максимальная прибыль» можно использовать критерий «минимальная себестоимость»

Выбор по максимальной производительности рекомендуется производить с помощью индикаторного метода. Поясним этот метод на примере (форма 7.1).

Оптимизацию начинают с простановки индикаторных оценок  $Y = T_{шк}/T_{шк\min}$ . Для детали I  $T_{шк\min} = 7$  на станке D, следовательно, здесь  $I = 1$ . Соответствующие оценки  $I$  ставим для остальных станков. Аналогично находят оценку и для других деталей.

Далее начинают закреплять детали за станками исходя из минимальной индикаторной оценки и с учетом ресурса станка. Деталь I имеет минимальную индикаторную оценку на станке D, время выполнения заказа равно 70 ч, а ресурс 100 ч, следовательно, закрепляем эту деталь за станком D. Деталь II имеет минимальную индикаторную оценку для станка Л, но время выполнения заказа 100 ч, а ресурс 80 ч, следовательно, мы не можем обработать партию на этом станке и вынуждены перейти к станку с большей индикаторной оценкой и с большим ресурсом. Таким станком

у нас будет С. Деталь III имеет минимальную индикаторную оценку для станка D, оставшийся ресурс которого составляет 30 ч (100—70), а время выполнения заказа 20 ч, следовательно, мы можем закрепить деталь III за станком D. Аналогично деталь IV закрепляется за станком А.

Индикаторный метод прост и его можно легко реализовать на практике, но в нем не учитываются непосредственные затраты на обработку деталей на станках. Косвенно эти затраты учитываются, поскольку принятые оценки определяют относительную эффективность работы станков по выполнению каждого заказа.

Выбор станков по максимальной прибыли или минимальной себестоимости можно осуществлять с использованием *симплекс-метода*. В виде целевой функции используют или максимальную прибыль, или минимальную себестоимость. Максимальная прибыль

$$Z = \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^k \Delta C_{ij} X_{ij} \longrightarrow \max.$$

При ограничениях по программе и ресурсу:

$$\sum_{i=1}^P X_{i,} = P_i; \quad \sum_{i=1}^k T_{ij} X_{ij} \leq R_i,$$

где  $\Delta C_{ij}$  — прибыль при обработке  $j$ -й детали на  $i$ -м станке;  $X_{ij}$  — число  $j$ -х деталей, обработанных на  $i$ -м станке.

При выборе вариантов технологической оснастки можно воспользоваться критерием экономической эффективности

$$\Phi = \frac{(C_1 - C_2) N}{K_2 - K_1},$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — технологическая себестоимость данной операции при использовании соответственно менее дорогого и более дорогого приспособления;  $K_1$  и  $K_2$  — соответственно капитальные вложения в менее дорогое и более дорогое приспособление.

Выбор режущего инструмента зависит в основном от группы станка и вида обрабатываемой поверхности. Режущий инструмент должен удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать требуемое качество поверхностного слоя; обеспечивать требуемую точность обработки, для чего он должен обладать достаточной размерной стойкостью; удобно и быстро подналаживаться или заменяться при износе. При выборе инструмента необходимо в первую очередь применять стандартный или нормализованный инструмент. Качество обработки заготовки во многом зависит от материала режущей части инструмента, поэтому рекомендуется применять более износостойкий материал. Так, для лезвийных инструментов одновременно с широко применяемыми пластинками из титановольфрамокобальтовых сплавов применяются керамические пластинки с износостойкими покрытиями из нитрида титана и нитрида бора, пластинки, изготовленные из различных композиционных материалов, пластинки с искусственным алмазом и др. Широкое распространение получают неперегретываемые пластинки. При выборе режущего инструмента, в случае обеспечения несколькими инструментами требуемого качества и производительности, предпочтение отдается требующему меньших расходов:

для лезвийных инструментов

$$Ц = \frac{[(S_{pu} + S_{nep} H) - S_{отх}] T_o N K_{yb}}{T(H+1)},$$

для абразивных инструментов

$$Ц = \frac{S_{pu} T_o N}{T(H+1)} K_{yb},$$

где  $S_{pu}$  — первоначальная стоимость инструмента (резца, круга);  $S_{nep}$  — стоимость одной переточки;  $H$  — число переточек лезвийного инструмента или число правок абразивного инструмента до полного износа;  $S_{отх}$  — стоимость отходов;  $T_o$  — основное время на операцию;  $N$  — годовая программа выпуска деталей;  $K_{yb}$  — коэффициент, учитывающий случайную убыль;  $T$  — принятый период стойкости инструмента между двумя переточками или правками.

### 7.3. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ЕГО ОФОРМЛЕНИЕ

Выбор оптимального варианта технологического процесса возможен только при применении САПР-Т. Достоверность решения во многом зависит от принятой математической модели технологического процесса. Под такой моделью понимают систему математических соотношений, описывающих с требуемой точностью изучаемый объект и его поведение в действительных производственных условиях. Математические модели подразделяются на табличные, сетевые и перестановочные. Для описания математических моделей используются теория множеств, теория графов, теория вероятностей, математическая логика, математическое программирование и др.

Для оформления технологических процессов имеются документы основного и вспомогательного назначения. Основные документы делятся на документы общего и специального назначения. Документы общегоназначения: титульный лист, рабочих чертеж детали или карта его эскизов, технологическая инструкция. Число и наименование специ-

альных документов зависит от вида технологического процесса и типа производства, но наибольшее распространение получили следующие документы: маршрутная карта; карта технологического процесса; операционная карта; карта наладки инструментов (для станков-автоматов и полуавтоматов); карта эскизов; ведомость материалов; ведомость оснастки; ведомость оборудования и т. п. К *вспомогательным* относятся документы, непосредственно не связанные с технологическим процессом, например карта эскизов на проектирование технологической оснастки, акт внедрения технологического процесса.

#### **7.4. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УНИФИЦИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ**

**Станки с ЧПУ.** Не приводя классификацию станков с ЧПУ, отметим только, что все они управляются с помощью программ, которые составляет программист или технолог. Для составления программ необходимо знать траекторию движения инструмента и увязать это движение с заготовкой, установленной в приспособлении. Для этой цели задается система координат, в которой ориентируется заготовка и инструмент, вводятся нулевые точки. Различают нуль станка, нуль заготовки, нуль начала обработки или плавающий нуль. Кроме нулевых точек, определяют опорные точки начала и конца перемещения или касания геометрических элементов, из которых образован контур детали и траектория движения инструмента на переходах обработки.

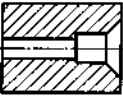
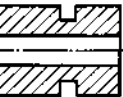
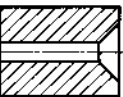
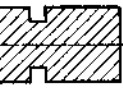

Необходимость разработки программ требует, кроме обязательной технологической документации, разрабатывать карту кодирования информации, карту заказа на разработку управляющей программы, ведомость обрабатываемых деталей на станках с ЧПУ.

Технологическая подготовка производства состоит из трех этапов: первый — предварительная технологическая подготовка (разработка маршрутной технологии); второй — разработка операционной технологии и управляющей программы; третий — технологическая подготовка производства для обработки по управляющей программе (производится в цехе наладчиком или оператором совместно с программистом или технологом).

При разработке технологического процесса повышается требование к точности технологических баз. Учитывая то обстоятельство, что обработка ведется без направляющих приспособлений, повышаются требования к жесткости инструмента. Для повышения производительности труда рекомендуется работу проводить на повышенных режимах за счет уменьшения стойкости инструмента. Применение станков с ЧПУ позволяет повысить производительность труда минимум в 2 раза. Чем сложнее деталь, тем больший эффект можно ожидать от применения станка с ЧПУ.

**Унифицированные технологические процессы (ТП).** Обычно под унифицированным ТП понимают типовые и групповые процессы. Технологическая унификация позволяет в значительной степени сократить срок подготовки производства и выполнить ее на более высоком организационно-техническом уровне при меньших затратах труда, времени, материальных и денежных средств. Типовые ТП получили распространение в массовом производстве, групповые — в мелкосерийном и серийном производстве.

В качестве классификационных признаков типов ТП приняты конфигурация и габаритные размеры детали, точность и качество обрабатываемых поверхностей, материал детали. Строится классификация по схеме класс — группа — подгруппа — тип. Например, класс — валы; группа — ступенчатые; подгруппа —

Эскиз детали	Точить торец 1	Точить поверхность 2	Точить канавку 3	Сверлить отверстие 4	Рассточить отверстие 5	Точить фаску 6	Обрезать заготовку по торцу 7
	+	+	-	+	+	+	+
	+	+	+	+	-	-	+
	+	+	-	+	-	+	+
	+	+	+	-	-	-	+
	+	+	+	+	+	-	+

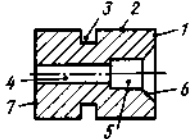


Рис. 7.4. Схема построения групповой операции

без центральных отверстий; тип — валы со шлицами. Тип объединяет детали, при изготовлении которых применяется одинаковый маршрут выполнения операций, однотипное оборудование и технологическая оснастка. Для деталей одного типа разрабатывается типовой техноло-

гический процесс с различной степенью детализации, вплоть до указания норм времени. В пределах одного типа допускается расхождение в планах операций за счет добавления или исключения нехарактерных операций.

Групповой метод предполагает классификацию деталей по методу обработки, общности применяемого оборудования и технологической оснастки. Групповой технологический процесс состоит из групповых операций, но допускается включение и операций с индивидуальной обработкой. Операция формируется на группу деталей, которые объединены общностью обрабатываемых поверхностей или их сочетаний. Для формирования общей наладки обычно создают комплексную деталь, т. е. деталь, аккумулирующую в своей форме все элементарные поверхности деталей группы. Комплексная деталь может быть реальной или мнимой. При обработке  $i$ -го типоразмера деталей производят небольшую подналадку, предусматривающую обработку только тех поверхностей, которые данный типоразмер деталей имеет (рис. 7.4). В некоторых случаях определяют не комплексную деталь, а комплексное сочетание поверхностей, позволяющих составить групповую операцию. Например, при обработке внутреннего отверстия к форме наружной поверхности детали предъявляется требование возможности обработки группы деталей в одном приспособлении.

## Глава 8

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

#### 8.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДОПУСКИ И РАЗМЕРНЫЕ СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

При проектировании ТП необходимо быть уверенным, что проектируемый процесс обеспечивает требуемую точность, т. е. будет надеж-

ным. Одним из способов определения надежности является размерный анализ, позволяющий установить точность готовой детали, операционные допуски и припуски, размеры заготовок.

Конструктор устанавливает допуски на готовую деталь исходя из ее



функционального назначения. Допуски могут устанавливаться на размер, форму и пространственное расположение поверхностей детали. Технолог должен обеспечить эти допуски в процессе изготовления. Технологический процесс изготовления может состоять из целого ряда операций, которые в свою очередь требуют задания допусков на промежуточных стадиях изготовления детали. Таким образом, допуски, формирующиеся в процессе изготовления, принято называть *операционными допусками*. На последней операции технологические допуски должны обеспечить конструкторские допуски (т. е. они могут равняться конструкторским допускам или быть меньше их), на нулевой операции они будут допусками на заготовку.

После установления допусков на обработку  $TA$  необходимо проверить возможность воспроизведения на данном оборудовании требуемого допуска:

$$\Delta A_{\Sigma} \leq TA,$$

где  $\Delta A_{\Sigma}$  — суммарная погрешность обработки размера  $A$  на данном оборудовании при  $i$ -м переходе.

Требуемый допуск недостаточно обеспечить точностью изготовления, его надо еще правильно проконтролировать. Определить размер с допуском, меньшим, чем точность измерительного инструмента, нельзя. Например, размер, имеющий допуск 5 мкм, нельзя измерить микрометром с ценой деления 10 мкм. В зависимости от точности инструмента, суммарной погрешности обработки, допуска на обработку могут возникнуть ошибки 1-го рода (вероятность забраковки годных изделий) и ошибки 2-го рода (вероятность приемки негодных изделий). Не анализируя выбора оптимальной точности измерительного инструмента, укажем, что практически рекомендуется выбирать инструменты в зависимости от связанного с качеством (табл. 8.1) коэффициента точности  $A_{мет} = \delta_{мет}/TA$ , где  $\delta_{мет}$  — практически предельная погрешность измерения.

Таблица 8.1. Коэффициент точности измерительного инструмента

Квалитет измеряемого параметра	2...5	6...7	8...9	10...16
Коэффициент точности метода	0,35	0,30	0,25	0,20

Пример. Обрабатывается вал 035 мм по 8-му квалитету. Допуск 39 мкм, следовательно, для измерения этого диаметра необходимо выбрать инструмент с предельной погрешностью измерения не более  $39 \cdot 0,25 \approx 10$  мкм, т. е. в данном случае можно выбрать микрометр с ценой деления 0,01 мм.

На допуск изготовления может оказывать влияние измерительная база. Состояние измерительной базы определяется погрешностью формы и пространственными отклонениями. Эти погрешности могут влиять или не влиять на точность измерения, все зависит от конкретных условий. Разберем это утверждение на конкретных примерах.

При измерении диаметра обрабатываемого вала двухконтактным инструментом (микрометр, индикаторная скоба) допуск на обработку можно принять равным точности обработки, т. е.  $TA = \Delta A_{\Sigma}$ . При измерении отклонения диаметра вала от установленного размера с помощью одноконтактного инструмента (индикатор, настроенный на заданный размер) на допуск будет оказывать влияние погрешность формы  $\Delta A_{\phi}$ , т. е.  $TA \geq \Delta A_{\Sigma} + \Delta A_{\phi}$ .

При контроле толщины фланца (рис. 8.1) допуск на размер  $L$  будет определяться из неравенства  $TA \geq$

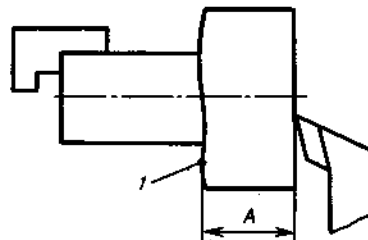


Рис. 8.1. Схема обработки и контроля толщины фланца

$\geq \Delta A_{\Sigma} + \Delta A_{\phi.1}$ , где  $\Delta A_{\phi.1}$  — погрешность формы торца У.

При измерении размера  $H$  (см. рис. 4.8) допуск на него будет определяться из неравенства

$$TH \geq \Delta A_{\Sigma} + TA + \Delta H_{\phi.3} + \Delta H_{p.3},$$

где  $\Delta H_{\phi.3}$  — погрешность формы плоскости 3;  $\Delta H_{p.3}$  — погрешность расположения плоскости 3.

Размерная схема операции оказывает значительное влияние на допуск. Если звено  $A$  является замыкающим звеном операционной цепи, то

$$TA = 2 \sum_i^{n-1} TA_i,$$

где  $n$  — число размерных звеньев в операционной цепи.

Часто при анализе точности технологических процессов вместо погрешности данного размера  $\Delta A_i$ , полученного расчетным путем, используют поле рассеивания размеров  $\omega A_i$ , которое может обеспечивать данный метод обработки, поэтому в приведенных формулах  $\Delta A_i$  может быть заменена на  $\omega A_i$ .

В существующих стандартах приводится понятие технологическая размерная цепь, которая определяет точность изготовления детали. По этим стандартам точность изготовления детали определяется в зависимости от конструкции станка, точности деталей станка и схемы закрепления детали. Для решения этих задач необходимо знать погрешность изготовления деталей станка, а в случае если деталь обрабатывается на станках, давно находящихся в эксплуатации, то точность деталей станка с учетом их изменения с течением времени, а эти данные получить довольно трудно. Поэтому ряд исследователей предлагает погрешность станка получать экспериментально или воспользоваться табличными данными, составленными на основании статистических данных, а погрешность параметров изготавливаемой детали рассчитывать с помощью размерных цепей. Эту разновидность

технологических цепей обычно называют *операционными размерными цепями*.

Звеньями операционных цепей являются размеры или иные точностные параметры детали на различных стадиях ее изготовления: припуски, биение, отклонения от соосности, параллельности, перпендикулярности, прямолинейности, а также толщины покрытий (хромовых, цинковых и пр.). Операционные размерные цепи представляют собой совокупность размеров (или других размерных параметров), образующих замкнутый контур и определяющих связь между операционными размерами или другими параметрами на различных стадиях обработки. Технологическая операция обычно определяется несколькими размерными цепями. Технологические размерные цепи рассчитываются по тем же формулам, что и конструкторские.

При расчете операционных размерных цепей решают проектные и проверочные задачи. При решении проектных задач исходят из окончательных размеров детали. Имея предполагаемый технологический маршрут обработки детали, задаются или рассчитывают припуски и точность обработки. На основании этих данных производят расчет операционных размерных цепей, позволяющих определить межоперационные размеры и размеры заготовок.

При проверочном расчете устанавливают правильность спроектированного технологического процесса. В этом случае нам известны размеры детали, заготовки и межоперационные размеры. Расчет операционных цепей позволяет определить правильность выбора припусков и размеров, непосредственно не выполняемых на данном установе.

Сложность решения операционных размерных цепей заключается в выявлении вида замыкающего звена, в зависимости от которого предопределяется последовательность расчета. Поэтому для упрощения расчетов

при составлении размерных цепей будем присваивать замыкающим звеньям различные номера.

Рассмотрим решение операционных размерных цепей на примерах.

Пример 1 (рис. 8.2). На данной операции подрезается торец 3, технологическая база — торец 2. При подрезании торца 3 изменяются размеры  $A_3$  и  $A_2$ . Размер  $A_3$  является настроечным размером и зависит только от точности обработки торца 3. Размер  $L_2$  зависит от точности обработки торца 3 и торца 1 на  $(i-k)$ -й операции.

Проектный расчет:

$$\begin{aligned} A_{3(i-1)} &= A_{3i} + TZ_3; \\ TA_{3(i-1)} &= TA_{3i} + TZ_3; \\ TA_{3i} &\geq \omega A_{3i} = \omega Z_3; \\ (\omega A_{3(i-1)}) &= \omega A_{3i} + \omega Z_3; \\ A_{2(i-1)} &= A_{2i} + Z_3; \\ \Gamma L_{2(i-1)} &= \Gamma L_{2i} + TZ_3; \\ TA_{2i} &\geq \omega A_{2i} = \omega Z_3 + \omega L_{(i-k)}; \\ \omega A_{2(i-1)} &= \omega L_{i-k} + \omega Z_3, \end{aligned}$$

где  $TZ_3$  — допуск на припуск при подрезке торца 3 на  $i$ -й операции;  $\omega Z_3$ ,  $\omega L_{(i-k)}$  — поля рассеивания размеров при подрезке соответственно торцов 3 и / на  $i$ -й и  $(i-k)$ -й операциях.

При проектном расчете припуск является составляющим звеном, следовательно, его допуск будет зависеть от колебания составляющих параметров припуска  $Rz_{i-1}$ ;  $h_{i-1}$ ;  $\rho_{i-1}$ ;  $\Delta_{yi}$  (обозначение смотри в главе 3), а поле рассеивания можно с небольшим допущением приравнять к допуску на припуск, т. е.  $\omega Z_{i-1} \approx TZ_i$ .

При определении координаты середины поля допусков исходим из того, что припуск не всегда является номинальным, вследствие чего его приходится приводить к ближайшему номинальному значению. Поэтому для упрощения расчетов предлагается изменить номинальные значения на размеры, у которых координаты середины полей допусков  $E_c A_i \neq 0$ . Эти действия рекомендуется выполнить перед началом расчета технологических размерных цепей. Номинальный размер готовой детали или заготовки преобразуется в размер, у которого  $E_c A_i = 0$ , т. е.  $A'_i = A_i + E_c A_i$ . Таким образом, при расчете размерных цепей за номинальные размеры будут приниматься размеры, у которых  $E_c A_i = 0$ .

Для удобства распознавания звеньев при расчете операционных цепей присвоим звену  $A_{3(i-1)}$  номер 2, звену  $A_{2(i-1)}$  — номер 3. Номером 1 будем называть любое составляющее звено размерной цепи.

Произведем проверочный расчет. Поле рассеивания и допуск на замыкающее звено ( $Z$ ) определяют по настроечному размеру (в нашем случае  $A_3$ ):

$$\begin{aligned} Z_3 &= A_{3(i-1)} - A_3; \\ TZ_3 &= TA_{3(i-1)} + TA_3; \\ \omega Z_3 &= \omega A_{3(i-1)} + \omega A_3; \\ E_c Z_3 &= E_c L_{3(i-1)} - E_c A_3. \end{aligned}$$

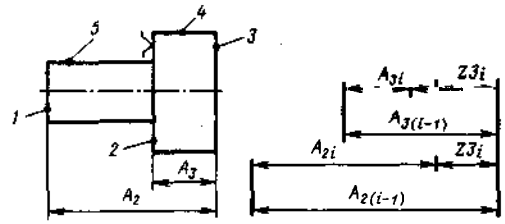


Рис. 8.2. Схема формирования размеров при обработке торца 3

Далее решаем неравенство  $Z_{\min} \geq Z_i + E_c Z_{3i} - TZ_3/2$ . Если  $Z_{\min}$  меньше правой части уравнения, то процесс неверен и требуется его корректировка, если больше или равно, то расчет продолжаем.

Пример 2 (рис. 8.3). На данной операции подрезаются торцы 1 и 2, вследствие чего формируются размеры  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ . Звено  $A_1$  — замыкающее звено технологической цепи — может совпадать или не совпадать с замыкающим звеном конструкторской цепи. Вне зависимости от решаемой задачи — проектная или проверочная — в первую очередь необходимо проверить возможность получения размера  $A_1$  с требуемыми допусками.

Допуск на замыкающее звено определяется по методу полной взаимозаменяемости (при числе размерных звеньев меньше пяти) или по теоретико-вероятностному методу (если больше пяти). Если замыкающее звено технологической цепи является и замыкающим звеном конструкторской цепи, то никакого ужесточения проводить не надо, т. е.

$$S_i = (TA_{2i} + TA_{3i} - TA_{1i}) \leq 0. \quad (8.1)$$

Если же  $S_i > 0$ , то необходимо проводить ужесточение допусков. Но необходимо помнить, что ужесточение допусков более чем позволяет точность обработки, характеризующая поле рассеивания, нельзя. Для нашего случая определим

$$S_2 = (TA_{2i} - \omega A_{2i}) + (TA_{3i} - \omega A_{3i}). \quad (8.2)$$

При этом если  $S_2 < S_1$ , то технологический процесс не обеспечивает требуемой

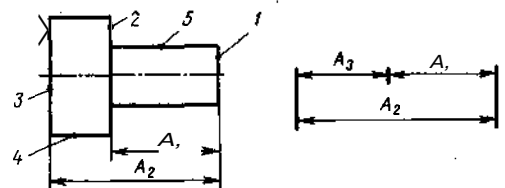


Рис. 8.3. Схема формирования размеров при обработке торцов 1 и 2

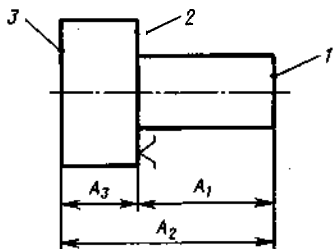


Рис. 8.4. Схема формирования размеров при обработке торцов / и 3

точности и необходима корректировка технологического процесса, заключающаяся в замене оборудования или последовательности обработки детали. Если  $SI_i = S2_i$ , то допуски на размеры  $A_2$  и  $A_3$  будут равняться значениям своих полей рассеивания размеров:  $TA_{2i}^n = \omega A_{2i}$ ;  $TA_{3i}^n = \omega A_{3i}$ , где  $TA^n$  — новые технологические допуски. Если  $S2_i > SI_i$ , то допуск на составляющие звенья операционной цепи можно увеличить по сравнению со значениями полей рассеивания этих звеньев, т. е.

$$TA_{2i}^n = \omega A_{2i} + D/2; \quad (8.3)$$

$$TA_{3i}^n = \omega A_{3i} + D/2, \quad (8.4)$$

где  $D = S2_i - SI_i$ ;

$$\omega A_{1i} = \omega I_1 + \omega 2_i = \omega A_{2i} + \omega A_{3i}; \quad (8.5)$$

$$TA_{1i} = A_{2i}^n + TA_{3i}^n. \quad (8.6)$$

Назовем звено  $A_1$  звеном номер 4, произведем проектный расчет. Звенья  $A_{2(i-1)}$  и  $L_{3(i-1)}$  определяются аналогично звену  $A_{3(i-1)}$  на рис. 8.2, только при определении допусков необходимо подставить ужесточенные допуски, т. е.

$$TA_{2(i-1)} = TA_{2i}^n + TZI_i;$$

$$TA_{3(i-1)} = TA_{3i}^n + TZ2_i;$$

$$\omega A_{(i-1)} = \omega A_{1i} + \omega ZI_i + \omega Z2_i;$$

$$L_{1(i-1)} = A_{2(i-1)} - A_{3(i-1)};$$

$$TA_{1(i-1)} = TA_{1i} + TZ2_i + TZI_i.$$

Назовем звено  $A_{1(i-1)}$  звеном номер 5, выполним проверочный расчет. Кроме проверки звена  $A_1$ , проверяют припуски  $ZI_i$  и  $Z2_i$ . Проверка припусков производится, как в примере 1.

Пример 3 (рис. 8.4). Одновременно подрезаются торцы / и 3, технологическая база — торец 2. Настраиваем инструмент таким образом, чтобы выдерживать размеры  $L_1$  и  $L_2$ . Выполним проектный расчет.

Размер  $A_{1(i-1)}$  рассчитывается, как размер  $A_{3(i-1)}$  в примере 1. Размер

$$A_{2(i-1)} = A_{2i} + ZI_i + Z3_i = A_{2i} + Z_i;$$

$$\omega A_{2(i-1)} = \omega A_{2i} + \omega ZI_i + \omega Z2_i = \text{шЛ}_{2i} + \omega Z_i;$$

$$TL_{2(i-1)} = TA_{2i} + TZI_i + TZ2_i = TA_{2i} + TZI_i.$$

Эти зависимости аналогичны приведенным в примере 1 для размера  $A_{3(i-1)}$ . Таким об-

разом можно сделать вывод, что размер, имеющий симметричный припуск, рассчитывается аналогично размеру, имеющему асимметричный припуск, только вместо одностороннего припуска имеем дело с двусторонним припуском. Размер

$$A_{3(i-1)} = A_{3i} + Z3_i; \quad \omega A_{3(i-1)} = \omega A_{3i} + \omega Z3_i;$$

$$TA_{3(i-1)} = TA_{3i} + TZ3_i; \quad TA_{3i} = TA_{2i} + TA_{1i}.$$

Таким образом, это звено рассчитывается аналогично звену  $A_{3(i-1)}$  в примере 1, но первоначально производится проверка возможности его обработки (проверка звена  $A_3$ ), т. е. звено  $A_3$  вначале присваивается номер 4, а в дальнейшем оно выступает под номером 1.

## 8.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

В основе расчета технологических размерных цепей лежат те же зависимости, что и при расчете плоских цепей. Расчет ведется в два этапа.

**Расчет недостающих звеньев конструкторской цепи.** Число таких звеньев зависит от числа звеньев размерной цепи, проставленной на рабочем чертеже и выбранной схемы ТП. Размерные цепи обозначаются порядковыми номерами, причем замыкающее звено размерной цепи должно всегда иметь больший номер по сравнению с номерами составляющих звеньев. Для удобства расчета на ЭВМ составим матрицу, которая представляет собой таблицу передаточных отношений. Так, например, на рис. 8.5, а дан эскиз, разработанный конструктором. Технологу для выполнения технологического процесса необходимо знать еще звенья  $A_4$ ,  $A_5$  и  $A_6$  (рис. 8.5, б). Для решения этой задачи составляют матрицу (форма 8.1).

Форма 8.1. Матрица передаточных отношений

Номер конструкторской размерной цепи	Номер звена в конструкторской размерной цепи					
	1	2	3	4	5	6
1	-1	-1	1	-1	0	0
2	1	1	0	0	-1	0
3	0	1	0	1	0	-1

Эта матрица позволяет записать

$$A_4 = A_3 - A_1 - A_2, \quad A_5 = A_1 + A_2,$$

$$A_6 = A_2 + A_4, \quad TA_4 = TA_3 + TA_1 + TA_2,$$

$$TA_5 = TA_1 + TA_2, \quad TA_6 = TA_2 + TA_4$$

и т д

**Расчет операционных размерных цепей.** Прежде всего составляется технологический маршрут. На основании маршрутов составляются операционные размерные цепи. Эту работу начинают с финишной операции. При поверочном расчете можно начинать с заготовки. Для удобства расчета операционные размерные цепи сводят в матрицу. Каждое звено этой матрицы характеризуется следующими четырьмя показателями, где / — номер технологической цепи,  $J$  — порядковый номер звена технологической размерной цепи,  $K$  — порядковый номер звена в разработанной матрице,  $L$  — порядковый номер в конструкторской цепи. Составление матрицы начинают с финишной операции, а заканчивают первой операцией, т. е. размерами заготовки. Первая строчка матрицы соответствует готовой детали, а последняя — заготовке. Звенья заносятся в матрицу под номерами 1, 2, 3, 4, 5. Номер звена предопределяет порядок расчета. Каждая технологическая цепь определяется несколькими звеньями. Размерная цепь, состоящая из двух звеньев, предполагает, что третьим звеном является припуск, не заносимый в данную матрицу. Припуски рассчитывают или принимают по опытно-статистическим данным. Аналогично поступают и с полями рассеяния.

**Пример.** Надо изготовить вал по рис. 83 предположительно из штамповки. Требуется определить линейные размеры заготовки (если в качестве заготовки вы брать прокат, то необходимо провести только проверочный расчет).

Установим технологический маршрут. Операция 10 (см. рис. 82) — токарная: подрезать торец 3, точить поверхность 4. Операция 20 (см. рис. 83) — тоже токарная: подрезать торец /, точить поверхность 5, подрезать торец 2.

Исходные данные:  $A_2 = 120^{+0.4}$  мм,  $A_1 = (80 \pm 0,1)$  мм. Припуски при подрезке торцов  $Z_1 = Z_2 = Z_3 = 2$  мм. Точность изго-

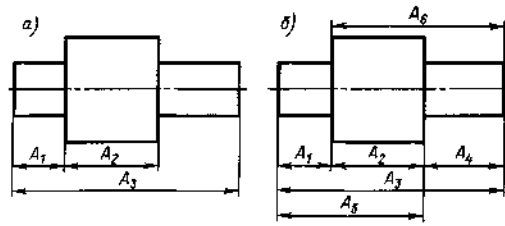


Рис. 85 Постановка размеров конструктором (а) и технологом (б)

товления торцов заготовки, характеризуемая полями рассеяния  $\omega I_0 = \omega 3_0 = 0,5$  мм,  $\omega 2_0 = 0,4$  мм.

Поле рассеяния после механической обработки (все торцы подрезаются при нашем технологическом процессе только один раз)

$$\omega I_{20} = 0,1 \text{ мм}, \quad \omega 2_{20} = 0,06 \text{ мм}, \quad \omega 3_{10} = 0,1 \text{ мм}$$

Расчет начнем с определения недостающего размера  $L_3$ , необходимого для расчета операционных размерных цепей.

$$A_3 = A_2 - A_1 = 120 - 80 = 40 \text{ мм},$$

$$TA_3 = TA_2 + TA_1 = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ мм},$$

$$E_c A_3 = E_c A_2 - E_c A_1 = 0,2 - 0 = 0,2 \text{ мм},$$

$$A_3 = 40^{+0.6}_{-0.1} \text{ мм}$$

Преобразуем номинальные размеры таким образом, чтобы  $E_c A = 0$ ,  $A'_i = A_i + E_c A_i$ ,  $L_2 = 120 + 0,2 = 120,2$  мм,  $A_2 = 120,2^{+0.2}_{0.2}$  мм,  $A_3 = 40 + 0,2 = 40,2$  мм,  $A_3 = 40,2^{+0.3}_{0.3}$  мм.

Составим расчетную матрицу по форме 82.

Решение начинаем со 2-й технологической цепи. По формулам (8.1) и (8.2) определим возможность получения размера  $A_1$ .

$$SI_{20} = 0,4 + 0,6 - 0,2 = 0,8 \text{ мм},$$

Форма 82 Расчетная матрица

/	J	K	L			Номер операции
			1	2	3	
1	1	1	1	1	1	n
2	1	2	0	0	1	20
2	2	3	0	1	0	
2	3	4	4	0	0	
3	1	5	0	0	1	
3	2	6	0	0	2	
4	1	7	0	1	0	10
4	2	8	0	2	0	
5	1	9	1	0	0	
5	2	10	5	0	0	
6	1	11	0	0	1	
6	2	12	0	0	2	
7	1	13	0	1	0	
7	2	14	0	3	0	
8	1	15	1	1	1	0

$$S_{220} = (0,4 - 0,06) + (0,6 - 0,1) = 0,84 \text{ мм} > \\ > S_{I_{20}};$$

$$D = 0,84 - 0,8 = 0,04 \text{ мм.}$$

Определим новые допуски на размеры  $A_2$  и  $A_3$  / см. формулы (8.3) и (8.4) ]:

$$TA_{2(10)}^{\text{н}} = 0,1 + 0,04/2 = 0,12 \text{ мм}; \quad TA_{3(10)}^{\text{н}} = 0,06 + \\ + 0,04/2 = 0,08 \text{ мм.}$$

Определим поле рассеяния и возможность получения требуемого допуска на звено  $A_1$  [см. формулы (8.5) и (8.6) ]:

$$\omega A_{1(20)} = 0,1 + 0,06 = 0,16 \text{ мм};$$

$$TA_{1(20)} = 0,08 + 0,12 = 0,20 \text{ мм};$$

$$TA_{1(20)} > \omega A_{1(20)}.$$

Следовательно, процесс удовлетворяет по точностным параметрам.

Рассчитаем размерную цепь  $J = 3$ . Она состоит из двух звеньев, следовательно, третьим звеном является припуск  $Z_2$ . Замыкающее звено имеет номер 2, поэтому эту цепь решаем аналогично звену  $A_3$  в примере 1, только в качестве допуска на звено 3 принимаем не допуск, предложенный конструктором, а жесточенный:

$$A_{3(10)} = A_{3(20)} + Z_{220} = 40,2 + 2 = 42,2 \text{ мм};$$

$$TA_{3(10)}^{\text{н}} = TA_{3(20)}^{\text{н}} + TZ_{220} =$$

$$= TA_{3(20)}^{\text{н}} + \omega Z_0 = 0,08 + 0,4 = 0,48 \text{ мм};$$

$$\omega A_{3(10)} = \omega A_{2(10)} + \omega Z_0 = 0,6 + 0,5 = 1,10 \text{ мм.}$$

$$= 0,06 + 0,4 = 0,46 \text{ мм.}$$

Размерная цепь  $J = 4$ :

$$A_{2(10)} = A_{2(20)} + Z_{I_{20}} = 120,2 + 2 = 122,2 \text{ мм};$$

$$TA_{2(10)} = TA_{2(20)}^{\text{н}} + \omega I_0 = 0,12 + 0,5 = 0,62 \text{ мм};$$

$$\omega A_{2(10)} = \omega A_{2(20)} + \omega I_0 = \omega I_{20} + \omega I_0 = \\ = 0,1 + 0,5 = 0,6 \text{ мм.}$$

Размерная цепь  $Y = 5$ : замыкающее звено имеет номер 5, следовательно, решение проводим аналогично звену  $A_2$  в примере 2:

$$A_{1(10)} = A_{1(20)} + Z_{220} - Z_{I_{20}} = 80 + 2 - 2 = 80 \text{ мм};$$

$$TA_{1(10)} = TA_{1(20)} + TZ_{220} + TZ_{I_{20}} = \text{ГЛ}_{1(20)} +$$

$$+ \omega Z_0 + \omega I_0 = 0,2 + 0,4 + 0,5 = 1,1 \text{ мм};$$

$$\omega A_{1(10)} = \omega A_{1(20)} + \omega Z_0 + \omega I_0 = \\ = 0,1 + 0,4 + 0,5 = 1 \text{ мм.}$$

Размерная цепь  $j = 6$ :

$$L_{3(0)} = A_{3(10)} + Z_{30} = 42,2 + 2 = 44,2 \text{ мм};$$

$$TA_{3(10)} = TA_{3(10)} + TZ_{30} = TA_{3(10)} + \omega Z_0 = \\ = 0,48 + 0,5 = 0,98 \text{ мм};$$

$$\omega A_{3(0)} = \omega A_{3(10)} + \omega Z_0 = 0,46 + 0,5 = 0,96 \text{ мм.}$$

Размерная цепь  $J = 7$ :

$$A_{2(0)} = A_{2(10)} + Z_{30} = 122,2 + 2 = 124,2 \text{ мм};$$

$$TA_{2(0)} = TA_{2(10)} + \omega Z_0 = 0,62 + 0,5 = 1,12 \text{ мм};$$

$$\omega A_{2(0)} = \omega A_{2(10)} + \omega Z_0 = 0,6 + 0,5 = 1,10 \text{ мм.}$$

Таким образом, мы получили следующие размеры заготовки:

$$A_1 = (80 \pm 0,55) \text{ мм}; \quad A_2 = 124,2_{-0,56}^{+0,56} = \\ = 124_{-0,76}^{+0,36} \text{ мм.}$$

## Глава 9

### ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ АВТОМОБИЛЯ

#### 9.1. БЛОК ЦИЛИНДРОВ

По расположению цилиндров различают в основном два вида блоков: рядные (рис. 9.1) и V-образные (рис. 9.2). Изготавливают блоки цилиндров из легированного или серого чугуна СЧ20 и алюминиевых сплавов АЛ4, АЛ9. Для получения заготовок чугунных блоков обычно используют литье в землю, а алюминиевых — литье в кокиль или под давлением.

Основные поверхности блока должны отвечать следующим требованиям:

отклонение от плоскостности на длине 100 мм верхней и нижней по-

верхностей блока не более 0,02... 0,08 мм (в зависимости от модели); переднего и заднего торцов не более 0,05 мм на длине 50 мм;

точность обработки основных поверхностей блока цилиндров в пределах: диаметр постели под вкладыши коренных подшипников коленчатого вала — квалитет 6; диаметр отверстия под шейки распределительного вала — квалитет 7 или 8;

допускаемая конусообразность и овальность на длине поверхности гильзы цилиндров не более 0,01... 0,025 мм;

отклонение от соосности постелей коренных подшипников не более 0,02... 0,04 мм;

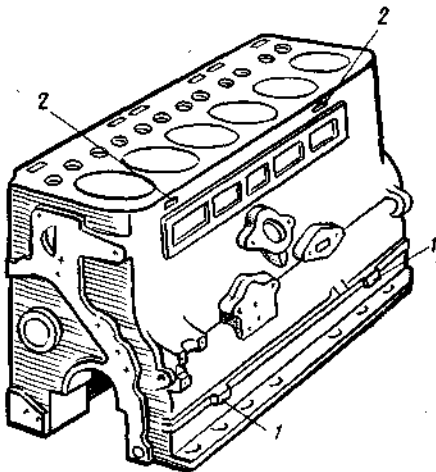


Рис. 9.1. Рядный блок цилиндров

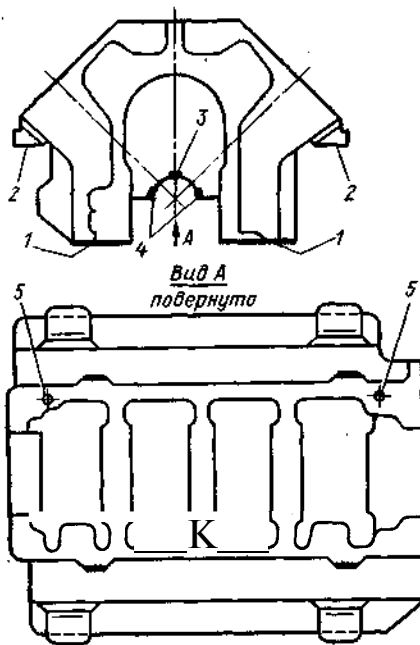


Рис. 9.2. Отливка V-образного блока цилиндров

отклонение от перпендикулярности осей цилиндров к осям коренных опор коленчатого вала в пределах 0,03...0,05 мм;

отклонение от параллельности осей отверстий коленчатого и распределительных валов не более 0,05...0,08 мм;

шероховатость поверхности ( $R_a$ ) цилиндра 0,16...0,08 мкм, поверхности постели под вкладыши коренного подшипника 0,32...0,16 мкм, отверстия под шейку распределительного вала 1,25...0,63 мкм.

При обработке рядного блока в качестве чистой технологической базы обычно выступает нижняя плоскость с двумя установочными отверстиями, которые обрабатываются при установке блока на площадки (пластики) приливов 1 и 2 (см. рис. 9.1). Эти площадки предварительно фрезеруют, базирясь по нижней плоскости и двум крайним гнездам коренных подшипников. В виде опорной базы выступает отверстие крайнего цилиндра.

При обработке V-образного двига-

теля (см. рис. 9.2) технологическими базами являются пять площадок 2 и поверхности 3 и 4 коренных подшипников. Чистовыми технологическими базами являются нижняя плоскость / и два технологических отверстия 5. Площадки и технологические отверстия являются искусственными базами.

Блоки цилиндров изготавливаются обычно на автоматических линиях. Число и содержание операций зависит от конструкции блока и автоматических линий. В технологический маршрут изготовления блока, кроме технологических операций резания, включаются операции транспортирования, промежуточного контроля, слесарные, моечные и т. п.

В качестве примера рассмотрим технологический маршрут обработки резанием V-образного блока цилиндров двигателя ЗИЛ-130 с крышками коренных подшипников и втулками распределительного вала. Обработка блока осуществляется на комплексе автоматических линий (табл. 9.1).

Таблица 9.1. Технологический маршрут обработки резанием блока цилиндров двигателя  
**ЗИЛ-130** на комплексе 1Л1397

Содержание операции	Оборудование
<i>Автоматическая линия 1Л397А</i>	
Фрезеровать предварительно и окончательно нижнюю плоскость	Продольно-фрезерные двухпозиционные станки, 3-шпиндельные станки
Сверлить 3 технологических отверстия и цековать 2 технологических платика	Сверлильный 5-шпиндельный двусторонний станок
Зенковать и развернуть 2 технологических отверстия; цековать 2 технологических платика	Сверлильный 6-шпиндельный двухпозиционный двусторонний станок
Повернуть блок на 180° вокруг горизонтальной оси	Поворотный барабан
Фрезеровать предварительно торцы блока	Продольно-фрезерный 2-шпиндельный станок
Фрезеровать предварительно и окончательно перемычки и площадки в верхней плоскости	Продольно-фрезерный 2-шпиндельный станок
Фрезеровать предварительно и получисто наклонные поверхности под головки цилиндров	Продольно-фрезерный 4-шпиндельный двухпозиционный станок
<i>Автоматическая линия 1Л397Б</i>	
Повернуть блок на 90° вокруг вертикальной оси	Поворотный стол
Расточить предварительно и получисто нижний и верхний пояски и выточку под гильзы	Расточные двусторонние 4-шпиндельные станки
Черновая и чистовая цековка площадки под привод распределителя зажигания; черновое и чистовое фрезерование площадки под масляный насос	Сверлильно-фрезерные 2-шпиндельные станки
Повернуть блок на 90° вокруг вертикальной оси	Поворотный стол
Предварительное протягивание поверхностей под вкладыши и крышки коренных подшипников	Протяжно-горизонтальный станок
<i>Автоматическая линия 1Л397В</i>	
Повернуть блок вначале на 90° вокруг вертикальной оси, потом на 90° вокруг горизонтальной оси	Поворотный стол
Предварительное и окончательное фрезерование торцов под коренные подшипники и замков под вкладыши	Горизонтально-фрезерный 1-шпиндельный станок
Сверление вертикальных масляных отверстий, отверстий под масляный насос и под грузовые болты, масляных каналов к коренным подшипникам; сверление и цекование отверстий под толкатели клапанов; сверление, цекование и развертывание под установочные штифты в 1-м коренном подшипнике и отверстий для крепления масляного насоса; цекование выемки под отверстие для установочного штифта передней крышки коренных подшипников	Сверлильные станки: трехсторонний двухпозиционный и 9-шпиндельный; двухпозиционный 13-шпиндельный и 6-шпиндельный станки
Повернуть блок на 90° вокруг горизонтальной оси	Поворотный стол
<i>Автоматическая линия 1Л397Г</i>	
Фрезеровать получисто торцы блока	Продольно-фрезерный 2-шпиндельный станок
Повернуть блок на 90° вокруг вертикальной оси	Поворотный стол
Сверление продольных масляных каналов, отверстий под установочные штифты и болты крепления картера сцепления, отверстий под крепления упорного фланца распределительного вала, 11 отверстий под резьбу крепления передней крышки и водяного насоса; зенкование отверстия под штангу привода бензонасоса, фаски в отверстиях под резьбу, отверстия в 5-й опоре под втулку шейки распределительного вала; зенкование и цекование отверстий под заглушку масляных каналов; сверление, зенкование и развертывание отверстий под штангу бензонасоса; цекование 4 технологических опорных бобышек	Сверлильные станки: 13-шпиндельный; двусторонний 38-шпиндельный; двусторонний 30-шпиндельный; двусторонний 10-шпиндельный; 8-шпиндельный; 2-шпиндельный



Содержание операции	Оборудование
<i>Автоматическая линия 1Л397Д</i>	
<p>Повернуть блок вокруг горизонтальной оси на 180°  Сверлить 2 отверстия в приливах под масляные патрубки, 4 отверстия в постелях коренных подшипников, 5 масляных каналов к коренным подшипникам, отверстие для сливного краника; сверлить и зенковать отверстия крепления масляного насоса и пеногасителя, 10 отверстий для крепления крышек коренных подшипников, 20 отверстий для крепления нижнего картера  Вытряхнуть стружку из глубоких отверстий под резьбу  Повернуть блок на 180° вокруг горизонтальной оси</p>	<p>Поворотный барабан  Сверлильный трехсторонний 6-шпиндельный станок; сверлильный двусторонний 25-шпиндельный станок  Установка для вытряхивания  Поворотный барабан</p>
<i>Автоматическая линия 1Л397Е</i>	
<p>Повернуть блок вокруг вертикальной оси на 180°  Сверлить сливные масляные каналы, средний масляный канал; сверлить и зенковать отверстия для переходника подачи масла на компрессор, отверстия для крепления привода распределителя зажигания; зенковать 2 отверстия под привод распределителя зажигания; цековать шесть площадок масляных каналов</p>	<p>Поворотный стол  Сверлильные двусторонние 3, 4, 6 и 7-шпиндельные станки</p>
<i>Автоматическая линия 1Л397Ж</i>	
<p>Повернуть блок вокруг горизонтальной оси на 180°  Сверлить: отверстия для циркуляции воды и отверстия для маслоизмерителя; сверлить, зенковать, цековать фаски у 34 отверстий для крепления головок блока; сверлить, зенкеровать и развернуть отверстия под установочные шпильки головки цилиндров</p>	<p>Поворотный барабан  Сверлильные двусторонние 4, 8, 12, 16, 34-шпиндельные станки</p>
<i>Автоматическая линия 1Л397И</i>	
<p>Расточить фаски в верхних и нижних поясах отверстий гильз  Зенкеровать 8 отверстий 042 мм, расположенных под углом 42° от вертикальной оси; сверлить, цековать и зенкеровать 16 отверстий под толкатели клапанов</p>	<p>Расточные двусторонние 4-шпиндельные станки  Сверлильные двусторонние станки: 8-шпиндельный; наклонные 16-шпиндельные</p>
<i>Автоматическая линия 1Л397К</i>	
<p>Повернуть блок на 180° вокруг вертикальной оси  Нарезать резьбу в отверстиях под переходник подачи масла на компрессор, крепления распределителя зажигания и масляного фильтра, под грузовой винт, крепления головки цилиндров, маслоизмерителя  Повернуть блок на 180° вокруг горизонтальной оси  Нарезать резьбу в отверстиях крепления перегородки нижнего картера, под масляные патрубки, крепления крышек коренных подшипников, крепления масляного насоса, крепления нижнего картера, сливного краника водяной рубашки  Повернуть блок на 90° вокруг вертикальной оси  Нарезать резьбу в отверстиях крепления крышки распределительных шестерен, фланца распределительного вала, водяного насоса, под штуцер водяного насоса, под пробки центральных масляных каналов и нижнего масляного канала, для крепления картера, под пробки водяной рубашки  Повернуть блок на 180° вокруг горизонтальной оси</p>	<p>Поворотный стол  Сверлильные двусторонние 4- и 36-шпиндельные станки  Поворотный барабан  Резьбонарезные двусторонние 23- и 21-шпиндельные станки  Поворотный стол  Резьбонарезный двусторонний 26-шпиндельный станок  Поворотный барабан</p>

Содержание операции	Оборудование
Протянуть окончательно под крышки коренных подшипников плоскость стыка, замок, гнездо в 5-м коренном подшипнике, фаску на гранях гнезда с нижней плоскостью Мойка и продувка блока	Горизонтально-протяжной станок Мощный агрегат
<i>Автоматическая линия 1Л397Л</i>	
Запрессовать штифты под крышки коренных подшипников	Станок для запрессовки штифтов
Запрессовать крышки коренных подшипников	Станок для запрессовки крышек
Ввернуть болты крепления крышек коренных подшипников вручную	—
Завернуть болты моментом 110...130 Н·м	Болтозаверточный 10-шпиндельный станок
Развернуть 2 технологических отверстия	Вертикально-сверлильный 2-шпиндельный станок
Повернуть блок вокруг горизонтальной оси на 180°	Поворотный барабан
То же вокруг вертикальной оси	» стол
<i>Автоматическая линия 1Л397М</i>	
Фрезеровать окончательно торцы блока	Продольно-фрезерный 2-шпиндельный станок
Повернуть блок на 180° вокруг горизонтальной оси	Поворотный барабан
Двукратное и однократное растачивание отверстий под вкладыши коренных подшипников и втулки опор распределительного вала; зенкерование 2 отверстий под установочные штифты; растачивание фаски в отверстиях под втулки распределительного вала	Горизонтально-расточные 4- и 7-шпиндельные станки
<i>Автоматическая линия 1Л397П</i>	
Развернуть отверстия под втулки распределительного вала	Горизонтально-разверточный 1-шпиндельный станок
Продуть отверстия под втулки распределительного вала	Специальный агрегат
Запрессовать втулки распределительного вала	Установка для запрессовки втулок
<i>Автоматическая линия 1Л397Р</i>	
Расточить предварительно и окончательно выточку в переднем и канавку в заднем коренных подшипниках, окончательно отверстия под коренные подшипники и втулки распределительного вала; развернуть 2 контрольных отверстия и 2 отверстия под установочные штифты	Расточные горизонтальные 2-шпиндельные станки; сверлильно-расточный двусторонний 6-шпиндельный станок
<i>Автоматическая линия 1Л397Т</i>	
Повернуть блок вокруг горизонтальной оси на 180°	Поворотный барабан
Вытряхнуть стружку из отверстий под коленчатый вал	Вытряхиватель
Хонинговать отверстия под коренные подшипники	Вертикально-хонинговальный станок
Кантовать блок для слива масла	Кантователь
<i>Автоматическая линия 1Л397Ф</i>	
Повернуть блок на 180° вокруг горизонтальной оси	Поворотный барабан
Фрезеровать площадки под привод распределителя зажигания и масляный насос	Горизонтально-фрезерный двусторонний 2-шпиндельный станок
Зенкеровать отверстия под масляный насос и под привод распределителя зажигания, цековать гнездо под привод распределителя зажигания	Сверлильный двусторонний 2-шпиндельный станок
Выдуть стружку из отверстий под масляный насос и привод распределителя зажигания	Установка для выдувания стружки
Дважды зенкеровать, расточить и развернуть окончательно отверстия под масляный насос и под привод распределителя зажигания	Горизонтально-сверлильные двусторонние 2-шпиндельные станки; горизонтально-расточные 2-шпиндельные станки
Повернуть блок на 90° вокруг горизонтальной оси	Поворотный стол

Содержание операции	Оборудование
<i>Автоматическая линия 1Л397Ц</i>	
Фрезеровать окончательно наклонные поверхности под головки цилиндров	Продольно-фрезерный 2-шпиндельный станок
Расточить полуокончательно и окончательно в отверстиях под гильзы цилиндров верхние и нижние пояски, выточку под буртик гильзы с поднутрением на глубину 5 мм	Расточные двусторонние 4-шпиндельные станки
<i>Автоматическая линия 1Л397Ч</i>	
Отрезать технологические бобышки	Фрезерный двусторонний 5-шпиндельный станок
Зенкеровать; развернуть предварительно и окончательно отверстия под толкатели клапанов	Сверлильные двусторонние 16-шпиндельные станки; расточные двусторонние 8-шпиндельные станки
Промыть отверстия под толкатели клапанов	Моечный агрегат
Раскатать отверстия под толкатели клапанов	Раскатной двусторонний 16-шпиндельный станок
Повернуть блок на 90° вокруг вертикальной оси	Поворотный стол
<i>Операции вне линии</i>	
Прочистка ершом и шомполом продольных масляных каналов, гнезд подшипников коленчатого и распределительного валов	—
Мойка, продувка сжатым воздухом и сушка блока	Моечный агрегат
Консервация всех поверхностей блока	Установка для консервации
Окончательный контроль	Контрольное оборудование

Примечания 1. Под операцией цекования понимается обработка площадки под головку болта (гайку, шайбу), зенкования — обработка конусной фаски в отверстиях, зенкерования — обработка просверленного отверстия перед его развертыванием.

2. В технологическом маршруте опущены операции: транспортирование, межоперационный контроль, клеймение номера смены и потока, слесарные операции, устранения дефектов.

## 9.2. КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ

Коленчатые валы могут иметь две — восемь коренных шеек и одну — восемь шатунных. Коленчатые валы изготавливаются с противовесами или без них. Кривошипные валов располагаются под углом 180 или 120°, реже 90°. Заготовки коленчатых валов получают горячей штамповкой или литьем. Штампованные коленчатые валы изготавливают из высокоуглеродистых и легированных сталей, а литые валы — из высокопрочных глобулярных чугунов, из ковких перлитных чугунов и легированных сталей. Литые выполняют в земляные и оболочковые формы.

Точность обработки поверхностей коленчатых валов характеризуется следующими данными: коренные и шатунные шейки обрабатываются по

квалитетам 5 или 6; овальность, конусообразность и седлообразность шеек не более 0,005...0,01 мм; шероховатость ( $Ra$ ) поверхностей шеек 0,63... ..0,080 мкм. Шейки валов упрочняют до твердости  $HRC_3$ , 52...62.

Технологическими базами при обработке резанием служат коренные шейки, поверхности торцов и опорные технологические площадки. На отдельных операциях в качестве баз используются поверхности центральных отверстий.

Разберем технологический маршрут механической обработки резанием на примере коленчатого вала двигателя ВАЗ-2101 (рис. 9.3). Материал заготовки — высокопрочный чугун с шаровым графитом. Заготовка — литье в песчаные формы при механической формовке. Механическая обработка проводится на стан-

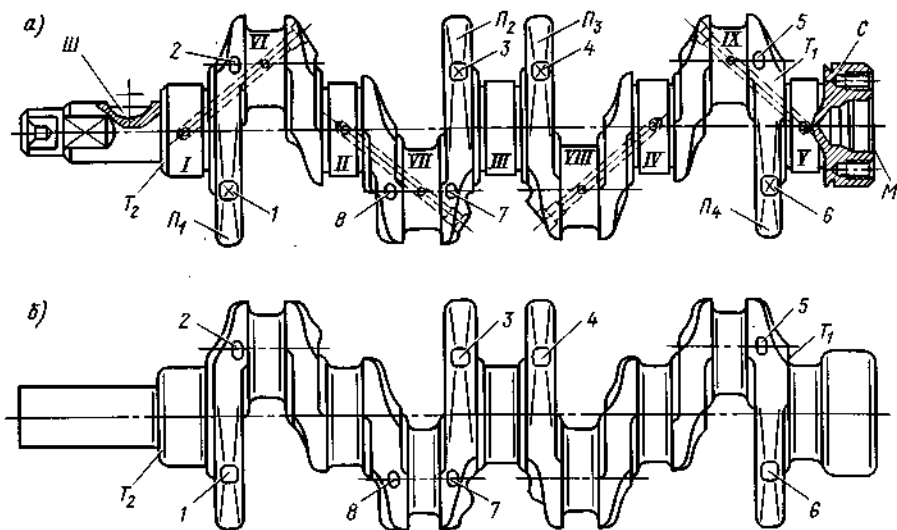


Рис. 9.3. Коленчатый вал двигателя автомобиля ВАЗ-2101 (а) и его отливка (б): 1...8— опорные технологические площадки (бобышки); П<sub>1</sub>...П<sub>4</sub>— противовесы; I...V— коренные шейки; VI...IX— шатунные шейки

ках-автоматах и автоматических линиях.

Операция 1. Загрузка; предварительная подрезка торцов; контроль длины; окончательная подрезка торцов; центрование с двух сторон; растачивание выточки; контроль. Базы служат коренная шейка /, поверхность С под сальник и торец Т<sub>1</sub>. Поворот заготовки с новым базированием по центровым отверстиям, торцу коренной шейки // и противовесу П<sub>1</sub>. Фрезерование технологических бобышек и разгрузка.

Операция 2. Обтачивание пяти коренных шеек и поверхности С под самоподжимной сальник с протачиванием маслосгонной канавки и снятием фасок. Базы — центровые отверстия, торец Т<sub>1</sub>.

Операция 3. Чистовое шлифование одновременно пяти коренных шеек и поверхности С под сальник коленчатого вала. Технологические базы те же, что в операции 2.

Операция 4. Обтачивание четырех шатунных шеек. Базы — коренные шейки / и V, торец Т<sub>1</sub> и бобышки /, 2, 5 и 6.

Операция 5. Сверление всех кана-

лов для смазывания, сверление и нарезание резьбы в отверстиях на торце фланца для крепления маховика, растачивание гнезда под подшипник, обновление центровых отверстий, фрезерование лысок и шпоночного паза Ш на хвостовике. Базы — коренные шейки / и V, бобышки 2, 5, 7, 8 и торец Т<sub>1</sub>.

Операция 6. Мойка и сушка коленчатого вала.

Операция 7. Закалка и отпуск ТВЧ пяти коренных и четырех шатунных шеек (HRC<sub>3</sub>50).

Операция 8. Чистовое шлифование пяти коренных шеек и поверхности С под сальник. Базы — центровые отверстия и предварительно шлифованный торец Т<sub>1</sub>.

Операция 9. Чистовое шлифование опорного торца фланца М под маховик. Базы те же, что в операции 8.

Операция 10. Шлифование цилиндрической поверхности носка вала под ведущую звездочку и шкив. Технологические базы те же.

Операция 11. Чистовое шлифование цилиндрической поверхности, торцов и галтелей четырех шатунных

шек. Технологические базы — коренные шейки / и V; опорная база, определяющая осевую фиксацию, — каждая шлифуемая шейка.

После шлифования шатунных шеек производится дефектоскопический контроль и размагничивание. Далее — балансировка вала, после чего он передается на доводочные операции. Здесь производится доводка торцов и образуются галтели на коренных шейках. Затем окончательно подрезаются торцы коренной шейки V и опорного торца T<sub>2</sub>. После слесарной операции зачистки заусенцев вал передается на ленточно-полировочный станок. Полируются поверхности пяти коренных и четырех шатунных шеек и поверхность С под сальник. Технологические базы — центровые отверстия. После этой операции вал поступает в моечный агрегат. Далее производится подборка коленчатого вала: запрессовываются заглушки с последующим их раскерниванием, шпонки и подшипник, устанавливается ведущая звездочка привода распределительного вала.

### 9.3. РАМЫ И КУЗОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

#### 9.3.1. Конструктивные и технологические особенности рам и кузовов

Рамы и кузовные конструкции относятся к несущей системе автомобиля, к которой крепятся остальные его части. Кузовные конструкции в большинстве случаев изготавливают

из тонких листовых материалов — стали, алюминиевых сплавов, пластмассы.

Основные детали кузовных конструкций штампуют из листовой низкоуглеродистой стали Ст.1кп толщиной 0,8...1,8 мм.

Раму имеют все грузовые автомобили, легковые автомобили высшего класса и некоторые автобусы и легковые автомобили повышенной проходимости. Рама грузового автомобиля, например КамАЗ-5320 (рис. 9.4), — лонжеронная, штампованная, клепаная. Лонжероны изготовлены из полосовой стали 14Г2АФ или 19ХГС толщиной 8 мм.

В зависимости от конструкции бывают кузова каркасные, полукаркасные и бескаркасные. Кузова легковых автомобилей обычно бескаркасные, автобусов — каркасные и полукаркасные, а цельнометаллические кабины грузовых автомобилей могут быть полукаркасными и бескаркасными.

Кузов легкового автомобиля имеет обычно несущую конструкцию (рис. 9.5).

Для повышения противокоррозионной стойкости некоторые детали кузова имеют одно- или двустороннее цинкрометаллическое покрытие толщиной 0,1 мм. Крылья с внутренней стороны дополнительно покрывают пластизолом. Под передние крылья при монтаже их на корпус устанавливают изолирующие прокладки.

Кузовные конструкции грузового автомобиля — это кабина (рис. 9.6), оперение и грузовая платформа.

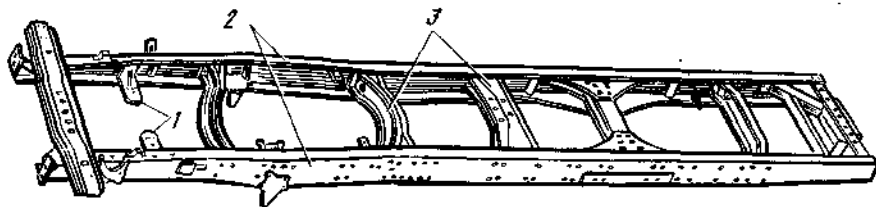


Рис. 9.4. Рама грузового автомобиля КамАЗ-5320:  
1 — кронштейны; 2 — лонжероны; 3 — поперечины

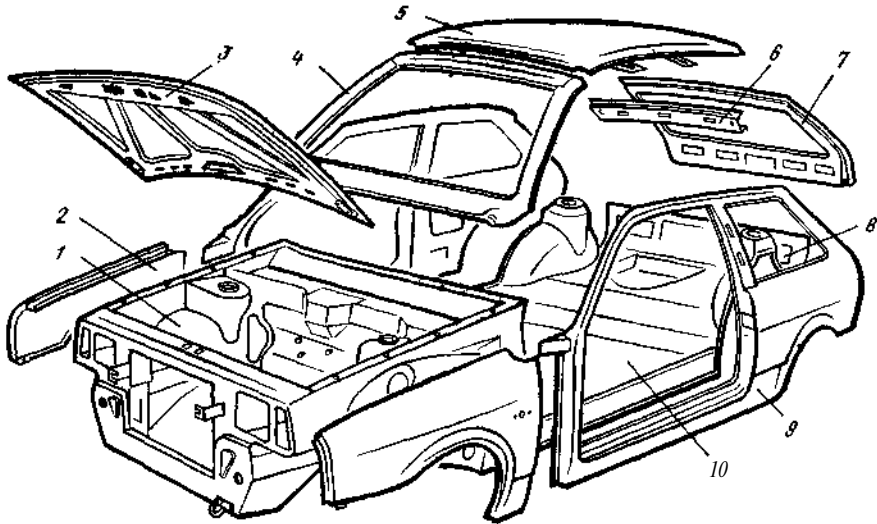


Рис. 9.5. Составные части кузова автомобиля ВАЗ-2108:

1— передок; 2— передние крылья; 3— капот; 4— рама ветрового окна; 5— крыша; 6— задняя балка; 7— дверь задка; 8— задок; 9— боковина, 10— пол

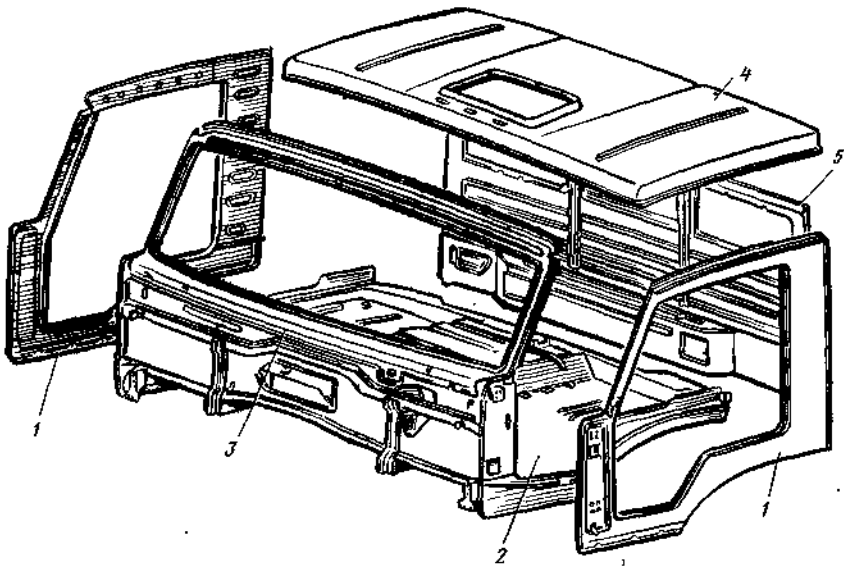


Рис. 9.6. Составные части корпуса кабины автомобиля КамАЗ:

1— боковины; 2— пол; 3— панель передка; 4— крыша; 5— панель задка

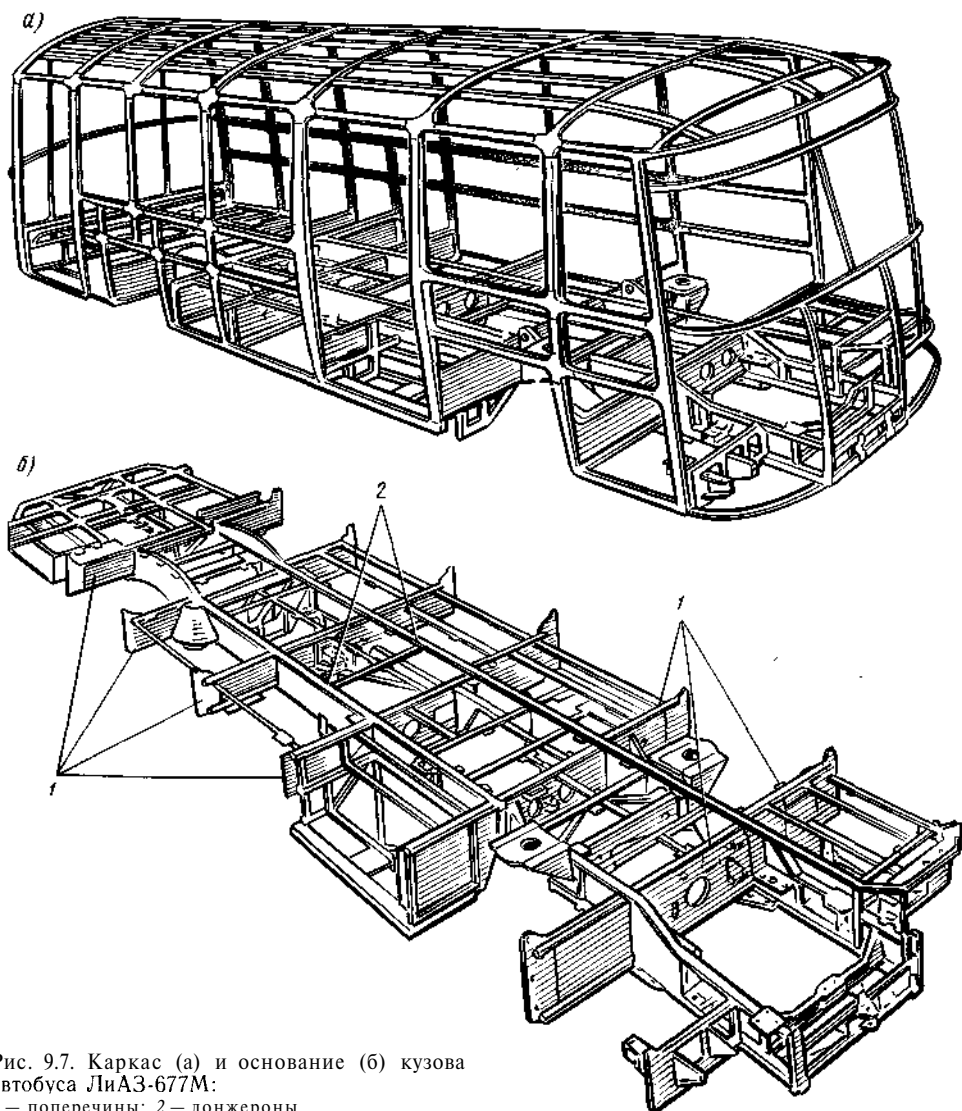


Рис. 9.7. Каркас (а) и основание (б) кузова автобуса ЛиАЗ-677М:

1 — поперечины; 2 — лонжероны

Кузова автобусов вагонного типа (рис. 9.7) представляют собой несущую цельнометаллическую сварную конструкцию, состоящую из каркаса, наружной и внутренней облицовок, пола, окон, дверей, сидений, кабины водителя и специального оборудования. Наружная облицовка боковин выполнена из дюралюминиевого или стального листа. Нижний пояс боковин облицован оцинкованной сталью. Внутренние поверхности панелей облицовки грун-

туют и покрывают шумоизоляционной мастикой. После сварки стыки панелей смазывают уплотнительной мастикой.

### 9.3.2. Изготовление элементов конструкции рам и кузовов, сборка каркаса

Производство рам включает изготовление лонжеронов, поперечин и их сборку. Лонжероны в зависимости

от конфигурации выпускают из сортового проката или штампуют. Лонжероны из проката не имеют изгибов в продольном направлении (в плане). В поперечном сечении эти лонжероны обычно имеют форму швеллера постоянной высоты. Лонжероны переменного сечения по длине, а также имеющие изгиб в продольном направлении получают штамповкой на прессах при нагреве заготовки до 850 °С. При остывании лонжеронов следят за тем, чтобы они не покоробились. Далее лонжероны подвергают нормализации и правке по стенке и верхней полке на прессах.

Механическая обработка лонжеронов включает фрезерование полок и сверление отверстий под заклепки. Фрезерование полок осуществляют на специальных или продольно-фрезерных станках. Ввиду значительной длины лонжерона его закрепляют при фрезеровании прижимами в нескольких точках по длине. По мере подхода фрезы к месту закрепления рычаги разжимаются. Отверстия в лонжеронах и поперечинах под заклепки получают на многошпиндельных сверлильных станках или на радиально-сверлильных станках по накладным кондукторам. Для усиления отдельных частей к лонжеронам приваривают или приклепывают пластины или элементы из профильного проката.

Поперечины и кронштейны рамы изготовляют из профильного проката или листового материала путем гибки в штампах и последующей сварки. При изготовлении элементов рам применяют электродуговую сварку в среде углекислого газа. При сварке стараются избегать, чтобы сварочные швы располагались на близком расстоянии один от другого или пересекались. Поперечины из отдельных элементов сваривают в кондукторах, определяющих их взаимное положение при сварке.

Общую сборку рамы осуществляют клепкой, которая обеспечивает высокое качество сборки узлов, подвер-

женных большим динамическим нагрузкам. Для сборки лонжеронов с поперечинами используют стенды, оснащенные устройствами для установки элементов рамы в определенное положение, их закрепления и получения заклепочных соединений.

Установку заклепок в отверстия осуществляют вручную. При диаметре стальных заклепок до 14 мм используют холодную клепку. Для получения качественного соединения длина заклепки должна быть такой, чтобы выступала на величину, в 1,3... 1,6 большую диаметра стержня заклепки в зависимости от формы замыкающей головки. При диаметре стальных заклепок более 14 мм их устанавливают в горячем состоянии (1050—1100 °С). Для клепки рам используют подвесные гидравлические прессы-скобы.

Усилие (в ньютонах) для образования головок стальных заклепок при холодной клепке

$$P = K_{\phi} d^{1,75} \sigma_p^{0,75},$$

где  $K_{\phi}$  — коэффициент, зависящий от формы замыкающей головки (сферическая — 28,6; потайная — 26,2; плоская — 15,2);  $d$  — диаметр стержня заклепки, м;  $\sigma_p$  — предел прочности материала заклепки, Па.

При клепке в горячем состоянии усилие принимают 65...80 кН на 10 мм<sup>2</sup> площади поперечного сечения стержня заклепки. После сборки производят контроль основных размеров рамы и ее геометрической формы.

Изготовление деталей кузовов предусматривает вырубку листовой заготовки, формообразование детали, обрезку по контуру с операциями пробивки отверстий и отбортовки, контроль детали.

Заготовки простых деталей из листа вырезают на гильотинных ножницах. Для деталей сложной формы применяют специальные вырубные штампы или дисковые ножницы. При вырезке заготовок важно правильно определить форму и размеры исходной заготовки, а затем наиболее



рационально расположить контуры заготовок на листе или полосе. Показателем, характеризующим степень рациональности раскроя, служит коэффициент использования материала

$$\eta = f n / F,$$

где  $f$  — площадь исходной заготовки детали,  $\text{м}^2$ ;  $n$  — число исходных заготовок, получаемых из полосы или листа;  $F$  — площадь полосы или листа,  $\text{м}^2$ .

Операции формообразования являются наиболее сложными и ответственными в технологическом процессе изготовления тонколистовых деталей. Возможность получения сложных деталей штамповкой во многом определяется пластическими свойствами металла, из которых основными являются относительное удлинение, поперечное сужение, предел прочности и текучести, отношение предела текучести к пределу прочности, твердость. Чем больше относительное удлинение, поперечное сужение и меньше отношение предела текучести к пределу прочности, тем большую глубину вытяжки за один переход обеспечивает материал.

*Глубокой вытяжкой* в несколько переходов штампуют облицовочные детали наиболее сложной формы. Число переходов определяют соотношением между поперечными размерами и глубиной детали, чтобы при вытяжке максимальные напряжения в опасных сечениях не превосходили предельного значения для штампуемого материала. Чем больше отношение глубины вытяжки к ее поперечному размеру, а также чем больше размеры фланца вытягиваемой детали, тем больше требуется переходов вытяжки. Так, при вытяжке деталей коробчатой формы за один переход радиус закругления в углах вертикальных стенок должен быть не менее 0,2 высоты детали, а радиус сопряжения вертикальных стенок и днища — не менее 6—8 толщин листа.

*Формовку* используют для придания жесткости тонколистовым панелям большой протяженности путем

местного изменения формы заготовок. При этом на поверхности детали формируют выступы, а также параллельные или пересекающиеся ребра, образующие определенный рисунок и значительно повышающие жесткость детали.

*Гибкой* изготовляют несложные различного профиля детали, служащие для усиления каркаса. Важным параметром при гибке деталей является внутренний радиус гибки. Максимальный радиус гибки, при котором деталь остается согнутой (в мм),

$$r_{\max} = 0,5 E s / \sigma_T,$$

где  $E$  — модуль упругости при растяжении, МПа;  $s$  — толщина материала, мм;  $\sigma_T$  — предел текучести, МПа.

Минимально допустимый радиус гибки

$$r_{\min} = 2 (\delta - 1),$$

где  $\delta$  — относительное удлинение.

Операции вытяжки, формовки и гибки осуществляют в штампах, конструкция которых определяется конфигурацией детали, содержанием операции штамповки и применяемым оборудованием. В условиях массового производства применяют высокопроизводительные прессы с механизацией и автоматизацией процесса штамповки. Прессы оборудуют механизмами подачи полосового материала или заготовок в зону штампа и механизмами удаления деталей из штампов. Для штамповки отдельных деталей имеются автоматические и роботизированные линии.

Обрезку деталей по контуру выполняют для удаления оставшегося после вытяжки фланца. Операции пробивки отверстий и внутренних проемов частично совмещают с операциями формообразования и выполняют в комбинированных штампах. Чаще всего пробивку отверстий совмещают с обрезкой детали по контуру и выполняют в одном штампе.

Отбортовку отверстий, проемов и кромок наружного контура деталей производят в формовочных штампах (рис. 9.8).

При контроле штампованных деталей внешним осмотром убеждаются в отсутствии разрывов и трещин, гофров, царапин и задиров на поверхности. Кроме того, контролируют основные размеры и правильность геометрической формы детали.

Собирают кузовные конструкции различными видами сварки. Доля контактной сварки при сборке кузовов 70...80 % общей трудоемкости сварочных работ. Для обеспечения высокой производительности и качества точечной сварки определяют оптимальные режимы процесса по формулам:

диаметр электрода (в мм)  $d_s = 2S + 3$ , где  $S$  — толщина наиболее тонкой из свариваемых деталей, мм;

сила сварочного тока (в А)  $I_{св} = \pi i d_s^2 / 4$ , где  $i = 200...500$  А/мм<sup>2</sup> — номинальная плотность тока;

усилие сжатия электродов (в Н)  $P_c = 10^{-6} \pi P d_s^2 / 4$ , где  $P = 65...115$  МПа — удельное усилие на электродах. Продолжительность импульса сварочного тока принимают 0,1...0,24 с.

Свариваемые детали при сборке закрепляют в кондукторах, оборудованных фиксаторами для базирования соединяемых частей и зажимными устройствами для закрепления. При конвейерной сборке кондукторы размещают на транспортных тележках.

Организация линии сборки и сварки зависит от типа производства и конструкции кузова, принятой технологии, конструкции сборочно-сварочных приспособлений и применяемого оборудования. Так, например, на сборку и сварку корпуса кузова легкового автомобиля поступают предварительно собранные крупные узлы (рис. 9.9, а): основание 1, правая 2 и левая 6 боковины, узлы переднего 4\* и заднего 5 окон, крыша 3. Главный кондуктор снабжен тележкой 9 (рис. 9.9, б), на

которой закреплены узлы фиксации 8 основания 7 кузова. Тележка выдвигается из кондуктора для удобства установки основания, затем перемещается в горизонтальной плоскости и поднимается до сопряжения основания с другими узлами кузова, первоначально зафиксированными в приспособлении. Основанием приспособления служит плита 2, в центре которой имеется вырез, в котором размещают тележку 9 с основанием 7. Положение тележки определяется фиксаторами с пневмоприводом 6. На плите с двух сторон кондуктора установлены салазки 4, на которых смонтированы стойки, несущие узлы фиксации и крепления левой и правой боковин. Вся система передвигается по направляющему 5 гидроцилиндром 3. Аналогичное устройство 1 смонтировано на плите в задней части приспособления, где фиксируют узел проема заднего окна. Узел переднего окна дополнительно фиксируют съемным приспособлением и подают на сборку. Для фиксации и крепления узлов корпуса в приспособлении используют пневмозажимы.

При сборке кузова в кондукторе вначале фиксируют проем заднего окна, затем боковины и проем переднего окна. Подавая зафиксированные узлы в рабочее положение, собирают и сваривают с крышей всю оболочку корпуса. Затем подают основание с передней частью и подмоторной рамой, образующей с оболочкой корпус кузова в сборе без навесных узлов. Дальнейшую работу выполняют снаружи корпуса, где сваривают фланцевые соединения. Для автоматизации сварки корпусов применяют роботы. Перемещаясь вдоль линии сборки, роботы сваривают корпус в заданных точках.

После сварки корпуса кузова производят контроль проемов дверей,

\* В проемах ветрового и заднего окон видны технологические усилители, обеспечивающие жесткость этих деталей при сборке кузова.

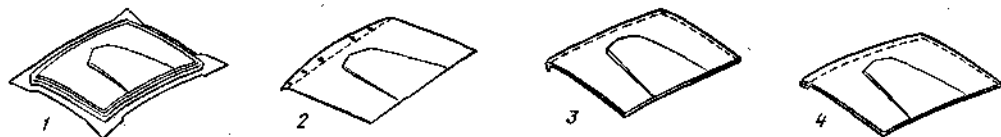


Рис. 9.8. Последовательность процесса штамповки верхней панели капота ГАЗ-24:  
 1— вытяжка; 2— обрезка по контуру и пробивка отверстий; 3— формование передней стороны и отбортовка фланцев задней и боковых сторон; 4— отбортовка передней стороны панели

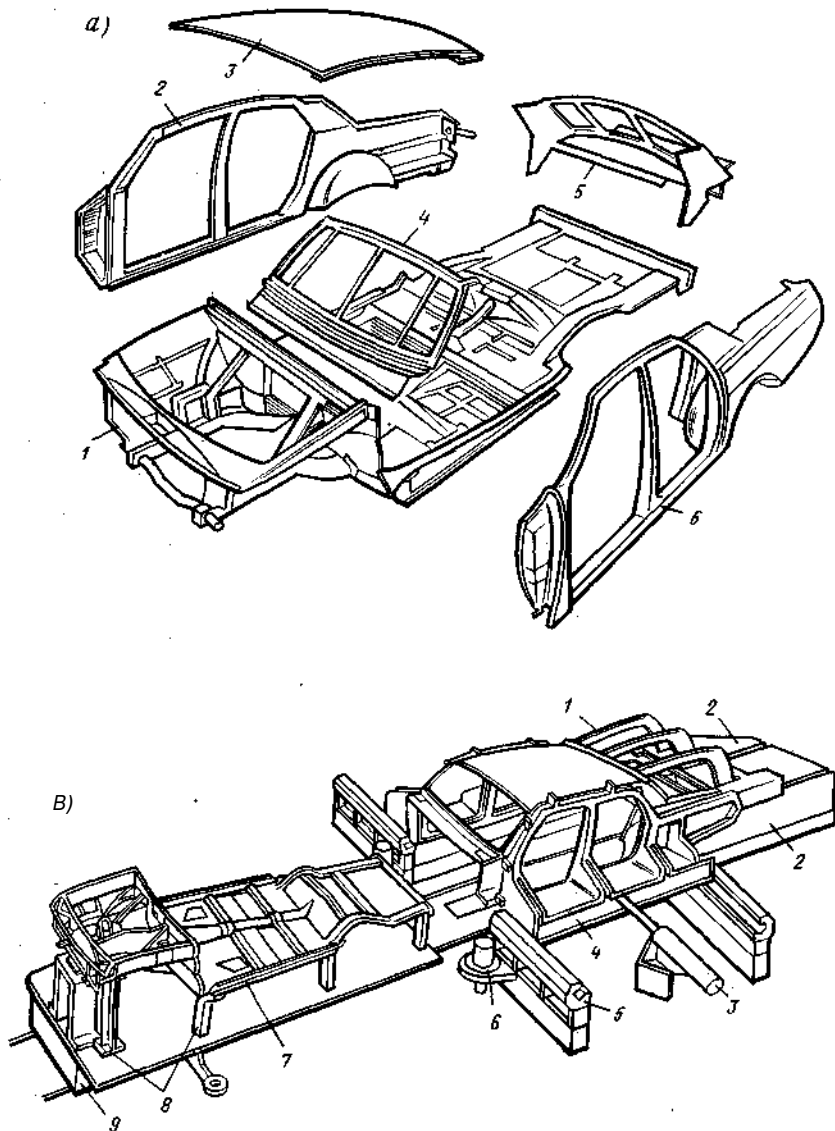


Рис. 9.9. Сборка корпуса кузова легкового автомобиля ГАЗ-24:  
 а — основные узлы корпуса кузова; б — главный кондуктор

капота, багажника, окон, а также посадочных мест для установки деталей и агрегатов шасси автомобиля.

### 9.3.3. Окраска рам и кузовов, общая сборка

Окраску рам и кузовов применяют для защиты их от агрессивного воздействия внешней среды и придания им декоративного вида. На качество покрытия большое влияние оказывают правильный выбор лакокрасочных материалов, состояние окрашиваемой поверхности и полнота выполнения процесса окраски (рис. 9.10).

Для окраски кабин и кузовов легковых автомобилей применяют синтетические эмали МЛ-12, МЛ-197 и др. с предварительным нанесением грунта ГФ-020 или ФЛ-03к. Поверхности, окрашенные этими эмалями, по сравнению с нитроцеллюлозными эмалями, обладают лучшими защитными и декоративными свойствами и не требуют полирования. Число наносимых слоев при этом сокращается с пяти или шести до двух или трех. Недостаток синтетических эмалей — высокая температура сушки.

Для подготовки поверхности к окраске применяют механические и химические методы. Последние предусматривают обезжиривание, трав-

ление и фосфатирование. Эти операции выполняют окунанием в ванны.

Для нанесения лакокрасочных материалов на рамы и кузова используют распыление воздушное и безвоздушное, в электростатическом поле, электроосаждение и др.

**Окраска воздушным распылением.** Этот метод предусматривает нанесение покрытия на кузов с помощью пневматических распылителей в камерах с вытяжной вентиляцией.

Лакокрасочный материал под действием сжатого воздуха распыляют в краскораспылителе на мельчайшие капли, которые, попадая на окрашиваемую поверхность, сливаются друг с другом и образуют покрытие.

К недостаткам метода воздушного распыления относятся: образование тумана из лакокрасочного материала, что ухудшает санитарно-гигиенические условия труда; необходимость интенсивного удаления загрязненного воздуха; большие потери краски — 30...60 % в зависимости от размеров и конфигурации кузова или кабины; повышенный расход растворителей для доведения лакокрасочного материала до рабочей вязкости.

**Окраска безвоздушным методом.** Безвоздушное распыление основано на подаче лакокрасочного материала насосом к соплу краскораспылителя

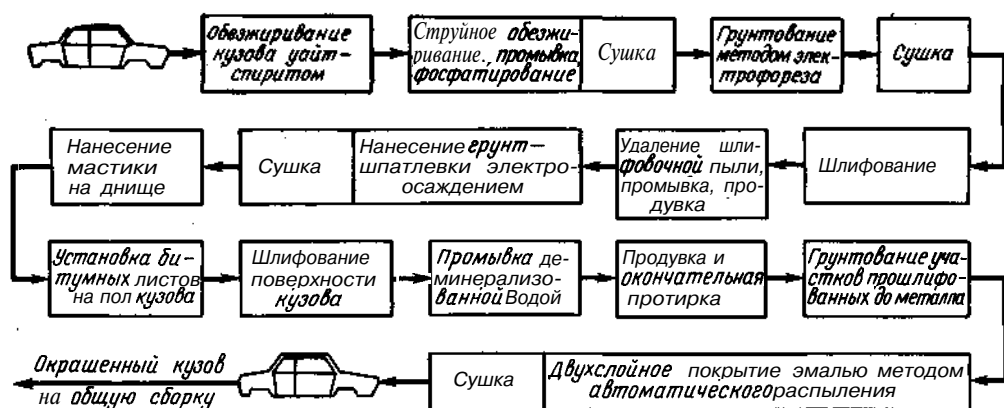


Рис. 9.10. Технологическая схема окраски кузова легкового автомобиля

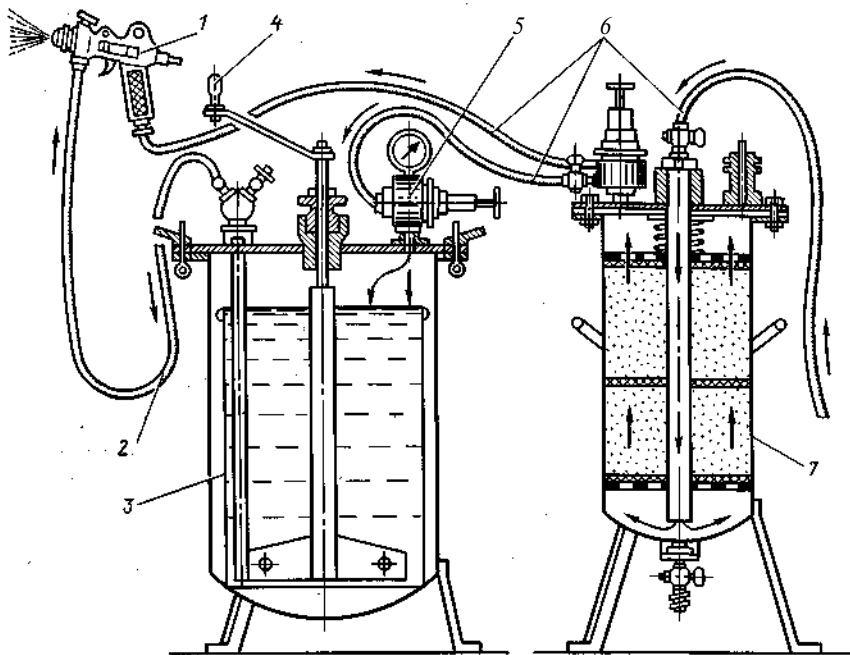


Рис. 9.11. Пневматическая краскораспылительная установка:

1— краскораспылитель; 2— шланг для подачи краски; 3— бак с краской; 4— мешалка; 5— регулятор давления; 6— воздушные шланги; 7— масловолагоотделитель

под высоким давлением со скоростью, при которой поток жидкости дробится на мелкие частицы. При выходе лакокрасочного материала из сопла давление падает до атмосферного и растворитель мгновенно испаряется, что способствует размельчению краски. Факел материала при безвоздушном распылении четко очерчен и защищен от окружающей среды оболочкой паров растворителей, что предотвращает рассеивание частиц материала в окружающую среду.

По сравнению с пневматическим распылением этот метод имеет ряд преимуществ: снижение на 10...15 % потерь краски на туманообразование; уменьшенный расход растворителей благодаря возможности распыления более вязких материалов; уменьшение продолжительности окраски вследствие нанесения меньшего числа слоев покрытия; использование вентиляционных установок меньшей мощности; лучшие санитар-

но-гигиенические условия труда за счет уменьшенного туманообразования.

К недостаткам метода следует отнести: необходимость более тонкого помола лакокрасочного материала; ограниченность применения метода при работе с малыми подачами распыляемого материала или размерами факела; более низкое по сравнению с пневматическим распылением качество покрытия.

При безвоздушном распылении используют специальные установки, в которых краску нагревают в замкнутой системе до 100 °С и под давлением 4...6 МПа подают к соплу распылителя.

**Окраска распылением в электростатическом поле.** Этот метод является наиболее совершенным, он получил наибольшее распространение в автомобилестроении благодаря ряду преимуществ перед методом пневматического распыления: позволяет значительно сократить потери мате-

риала, автоматизировать процесс окраски в сочетании с терморадикационной сушкой, повысить культуру производства и уменьшить стоимость окрасочных работ.

Сущность метода окраски в электрическом поле высокого напряжения заключается в следующем. Между двумя электродами, находящимися под напряжением и расположенными на расстоянии друг от друга, создается электрическое поле. Один из электродов имеет острые кромки. При повышении напряжения до определенного значения воздух возле этих кромок ионизируется, т. е. приобретает электрический заряд, и начинает двигаться по направлению силовых линий поля к противоположному электроду. При столкновении заряженного воздуха с молекулами незаряженного образуется коронный разряд и последние заряжаются. Электрод, вокруг которого возникает разряд, называют коронирующим. Одним из электродов является окрашиваемый кузов (положительный заземленный электрод), а другим — коронирующий электрод (отрицательный). В создавшееся между ними постоянное электрическое поле высокого напряжения вводят распыленный лакокрасочный материал, частицы которого, заряжаясь от ионизированного воздуха или кромки электрода, двигаются по силовым линиям электрического поля и осаждаются на заземленном кузове, образуя на его поверхности равномерное покрытие из лакокрасочного материала.

Детали из пластмассы окрашивают в электростатическом поле при использовании токопроводящей грунтовки или поверхностно-активных веществ. Последние наносят на поверхность непосредственно перед окрашиванием.

**Окраска электроосаждением.** Этот метод применяют для окраски рам, так как к качеству их декоративности покрытия не предъявляют высоких требований. Электроосаждением наносят эмаль ФЛ-149Э черно-

го цвета и грунтовку ФЛ-093 погружением в ванну. Рама в ванне является анодом, а корпус ванны или специальные пластины — катодом. Под действием постоянного тока 250 В отрицательно заряженные частицы краски перемещаются к положительно заряженной раме и равномерным слоем оседают на ее поверхности, проникая в труднодоступные места. После окраски раму сушат 20...30 мин при 170...200°C. Процесс электроосаждения полностью автоматизирован, менее токсичен по сравнению с другими методами, пожаробезопасен.

Окрашенные рамы и кузова подвергают, как правило, искусственной сушке конвекционным или терморадикационным методом. Лучшее качество покрытия достигается при втором способе. Окрашенные кузова поступают на конвейер общей сборки кузова. Собранный кузов от готового автомобиля отличается отсутствием двигателя, трансмиссии и ходовой части. Схема технологического процесса сборки кузова легкового автомобиля ГАЗ-24 в упрощенном виде может быть представлена так:

очистка метчиками (прогонка) всех резьбовых отверстий, нанесение клея на фланцы дверей в местах наклейки наружных уплотнителей, прокладка и крепление пучка электропроводки, монтаж масляного радиатора и стойки облицовки радиатора;

установка накладок и облицовки боковин, ограничителей дверей, приклейка изоляции крыши и передка, установка замка капота и уплотнителя капота;

установка облицовки радиатора, замка и молдинга багажника, замка крышки бензоналивного люка и подставок сидений;

монтаж коробов вентиляции, замков дверей с приводами и тягами;

установка деталей обдува заднего окна, наружных ручек дверей, включения плафона, опрыскивателя и изоляции шитка передка;

прокладка троса жалюзи, установка кронштейна и бачка омывателя; сигналов, привода ручного тормоза;

приклейка уплотнителей дверей и багажника, установка изоляции пола и поперечины, прокладок крыши и трубки торсионов багажника;

монтаж короба отопителя, валика акселератора, подфарников, задних фонарей, фар и фонаря номерного знака;

установка окантовок окон дверей и желобов, стеклоподъемников, опускаемых и поворотных стекол;

монтаж реле сигналов, потолка, плафона, противосолнечных козырьков и поручней;

установка панели стеклоочистителя, катушки зажигания и педалей;

вставка переднего и заднего стекол, заклейка пленкой внутренних панелей дверей, установка декоративных порожков пола, боковых ковриков, кантов и облицовок центральных стоек;

монтаж панели приборов в сборе, подключение проводов, установка рулевого управления;

установка панелей внутренней отделки дверей и арматуры, привода замка капота; монтаж гидроусилителя и разделителя тормозов, подсоединение всех проводов в подкапотном отсеке, в салоне и багажнике;

установка шумоизоляционных прокладок, нанесение клея между уплотнителем окон и стеклами, между уплотнителями и кузовом, проверка кузова на герметичность;

контроль и устранение негерметичности;

обдув кузова воздухом, протирка и очистка стекол, уборка кузова внутри и установка сидений;

контроль качества сборки и сдача кузова.

Собранный кузов поступает на линию сборки автомобилей (главный конвейер), где на него устанавливаются двигатель, агрегаты ходовой части и трансмиссии.

## Глава 10

### МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

#### 10.1. СРЕДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Механизацией* технологических процессов называется частичная или полная замена ручного труда на непосредственному изменению состояния, формы или качества изделий машинным. При этом оператор выполняет только работу по управлению машиной или механизмом, а также контроль за выполнением процесса.

*Автоматизация* технологического процесса предполагает полную замену ручного труда машинным, включая управление работой машины. Оператор в этом случае осуществляет только наблюдение за ходом выполнения процесса и при необходимости выполняет подналадку оборудования.

Правила применения средств Механизации и автоматизации (МиА) технологических процессов регламентированы рекомендациями Госстандарта Российской Федерации, которые устанавливают систему видов и категорий МиА, перечень средств технологического оснащения и номенклатуру показателей МиА технологических процессов.

По видам МиА разделяется на единичную и комплексную. *Единичной* называется механизация (или автоматизация), охватывающая только один элемент технологического процесса (операцию или переход). Если МиА охватывает два и более элемента, она называется *комплексной*. В свою очередь комплексная МиА разделяется на частичную и полную. При *полной* МиА все составные части технологического процесса механизированы (или

Таблица 10.1. Основные показатели механизации и автоматизации

Показатель	Расчетная формула
Хронометрический показатель уровня МиА живого труда	$d_T = T_{н.м(а)} / T_{шт}$
Хронометрический показатель уровня МиА средств технологического оснащения	$\alpha_n = T_{м(а)} / T_{шт}$
Энергетический показатель уровня МиА живого труда	$\Omega = \mathcal{E}_{м(а)} / (\mathcal{E}_{м(а)} + \mathcal{E}_p)$
Структурный показатель уровня МиА технологических процессов	$y_{ор} = \frac{2 \sum_{i=1}^n \Delta_i T_{шт.i}}{124 \sum_{i=1}^n T_{шт.i}}$

Обозначения:  $T_{н.м(а)}$  — сумма машинного времени, не перекрываемого ручным временем (индекс «м» или «а» ставится в зависимости от того, определяется уровень механизации или автоматизации);  $T_{м(а)}$  — сумма полного машинного времени;  $T_{шт}$  — сумма штучного времени;  $T_{шт.i}$  — штучное время  $i$ -й операции;  $\mathcal{E}_{м(а)}$  — сумма полезной работы машин и механизмов, кВт·ч;  $\mathcal{E}_p$  — сумма полезной физической работы людей, кВт·ч;  $\Delta_i$  — код класса  $i$ -й технологической операции;  $n$  — число операций.

автоматизированы), при *частичной* некоторые из них выполняются вручную.

Средства технологического оснащения при МиА включают в себя станки, инструменты, приспособления, контрольные устройства, манипуляторы, транспортные устройства. Каждое из этих средств может быть ручного действия, механизированным или автоматическим\*. *Станками (машинами)* называются отдельные технические устройства, выполняющие механические движения для непосредственного преобразования состояния материалов, энергии или информации. *Инструмент* — это техническое устройство, используемое в качестве орудия машины или человека. *Приспособления* выполняют функции базирования и закрепления изделия во время обработки или транспортирования. *Манипуляторы* образуют специфическую группу технических устройств, представляющих собой многозвенные шарнирно-рычажные механизмы и служащих для перемещения в пространстве предметов производства или инструментов. *Контрольные и транспортные* устройства предназначены соответственно для контроля за параметра-

ми технологического процесса и межоперационного перемещения изделий.

В средствах технологического оснащения ручного действия все рабочие и управляющие функции выполняются за счет энергии человека (оператора). Механизированные средства выполняют все технологические и вспомогательные действия с помощью энергии машины под управлением человека. Автоматические средства технологического оснащения функционируют и управляются по заданному алгоритму без участия человека.

Для оценки состояния МиА технологического процесса используются показатели уровня замены ручного труда машинным (табл. 10.1).

Код  $\Delta_i$  зависит от класса операции:

- естественно-автоматическая операция\* — 0;
- ручная операция — 5;
- механизированно-ручная операция — 15;
- механизированная контрольная операция — 21;
- автоматизированно-ручная операция — 31;

\* Естественнo-автоматическая операция в отличие от автоматической не требует участия человека, например бесцентровое шлифование.

\* Приспособления принято разделять только на ручные и автоматические.



механизированная операция — 46;  
автоматизированная операция — 62;

автоматическая операция — 124.

Основные показатели МиА связаны между собой:

$$d_{\tau} = K_n d_n; \quad \Omega = v d_n;$$

$$K_n = I_{н.м(а)} / I_{м(а)};$$

$$v = \frac{T_{шт}}{T_{м(а)} + \beta \cdot \frac{W_p}{W_{мш}}},$$

где  $W_p$  — средняя полезная производственная мощность одного рабочего, кВт;  $W_{мш}$  — полезно расходуемая средняя мощность машины, кВт;  $T_p$  — сумма ручного времени в технологическом процессе.

При анализе состояния МиА технологического процесса в первую очередь рассчитывают хронометрические показатели, а энергетические и структурные используют в качестве вспомогательных. Используя показатели МиА, можно определить категорию механизации (или автоматизации) технологического процесса. Принято выделять восемь категорий МиА по значению показателя уровня МиА средств технологического оснащения:

нулевая — 0 (отсутствие механизации или автоматизации);

низшая — 0,0...0,25;

малая — 0,26...0,45;

средняя — 0,46...0,60;

большая — 0,61...0,75;

повышенная — 0,76...0,90;

высокая — 0,91...0,99;

полная — 1,0.

Существует взаимосвязь между категориями и видами МиА. Так, в технологических процессах низшей и малой категорий механизации (автоматизации) наиболее предпочтительны единичные виды МиА, при категориях от средней до полной — комплексные виды МиА.

## 10.2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

Автоматизация производственных процессов проходит в своем развитии несколько этапов. Начальным этапом автоматизации является автоматизация

рабочего цикла технологической машины, т. е. создание машин-полуавтоматов и машин-автоматов. Последующий этап заключается в автоматизации системы машин — создании автоматических линий.

*Автоматической линией* (АЛ) называется совокупность расположенных в определенной последовательности и связанных транспортной системой группы технологического оборудования и вспомогательных устройств, предназначенная для автоматического выполнения определенных технологических процессов. В АЛ автоматизированы не только операции, непосредственно связанные с обработкой изделия, но и операции межоперационного перемещения, удаления отходов и т. п.

В соответствии с характером выполняемых технологических операций различают отдельные АЛ для обработки материалов резанием или давлением, для термообработки, для литья, нанесения защитных покрытий, для сборки и др., а также комплексные АЛ, предназначенные для выполнения операций нескольких наименований.

На рис. 10.1 приведена схема классификации АЛ. *Однономенклатурные АЛ* предназначены для выпуска изделий одного наименования, на *многономенклатурных* можно выпускать изделия нескольких наименований (или различные типоразмеры одного изделия).

В *однопоточных АЛ* изделия последовательно передаются с одной рабочей позиции на другую, образуя один технологический поток. В *многопоточных АЛ* возможна передача с одной рабочей позиции на другую сразу нескольких деталей параллельными потоками. Производительность многопоточных АЛ в общем случае выше, чем соответствующих однопоточных.

У *замкнутых АЛ* установка изделия и его снятие по окончании обработки происходит на одной и той же рабочей позиции. *Незамкнутые АЛ* в зависимости от располо-



Рис. 10.1. Классификация автоматических линий

жения оборудования в плане могут быть прямолинейными, Г-, S-образными и др. У таких АЛ позиции установки и снятия изделия удалены друг от друга.

*АЛ с гибкой связью* имеют межоперационные заделы, которые позволяют отдельным рабочим позициям линии работать с различным тактом, вплоть до полной остановки (без нарушения работы всей линии). В *АЛ с жесткой связью* межоперационные заделы отсутствуют, поэтому работа всех позиций должна быть синхронизирована. При остановке любой из позиций останавливается вся такая линия.

Технологическое оборудование *переналаживаемых АЛ* может быть перепрограммировано на выпуск другого изделия, в *непереналаживаемых АЛ* такая возможность отсутствует.

Применение АЛ позволяет значительно повысить программу выпуска изделий. Так, производительность АЛ из агрегатных станков более чем в 30 раз превышает производительность соответствующего универсального оборудования. Эффективность АЛ может быть повышена за счет применения автоматических транспортных и складских систем, управляемых ЭВМ.

АЛ различного технологического назначения нашли широкое применение в автомобилестроении. В том числе в отечественном сейчас работает более 3 тыс. АЛ (механи-

ческой обработки, сборки и др.). Одной из последних разработок является линия модели АЛ29 для автоматической сборки коробок передач автомобиля КамАЗ. Конструкция АЛ позволяет производить сборку семи модификаций коробок передач без переналадки линии. Полностью автоматизированы операции установки промежуточного, вторичного и первичного валов, запрессовки оси блока — шестерен заднего хода, затяжки болтов крышек подшипников, крышки механизма переключения передач, установки картера сцепления и др.

Для сборки шатунно-поршневой группы двигателей КамАЗ установленная линия производительностью 300 изделий/ч, обслуживаемая одним оператором.

Специфической разновидностью АЛ являются роторные линии. В отличие от традиционных АЛ, здесь технологическое воздействие на изделие происходит только на рабочих позициях, на таких линиях технологическое воздействие происходит непрерывно в процессе транспортирования изделия. Основная часть роторной линии — технологический ротор (рис. 10.2). По окружности ротора установлены инструментальные блоки, вращающиеся вместе с ним. Их количество равно числу одновременно обрабатываемых изделий. Рабочий ход инструментального блока и вращение ротора выполняются синхронно, за один оборот происходит

весь цикл обработки изделия на данном роторе. Таким образом, за каждый оборот ротора выдается количество изделий, равное числу позиций ротора (числу инструментальных блоков). Это обеспечивает производительность роторных линий от 30 до 1200 (и более) изделий в минуту. Опыт эксплуатации роторных линий показывает, что их применение наиболее целесообразно в следующих областях:

производство деталей из пластмасс, резины, металлокерамики методами прессования и спекания;

монтаж, запрессовка, упаковка деталей;

термообработка деталей (нагрев, отжиг, закалка и др.), нанесение защитных покрытий;

выполнение контрольных операций и др.

Эффективная эксплуатация такого высокопроизводительного оборудо-

вания, как роторные линии, возможна в условиях больших объемов производства. Экономический эффект от использования роторной линии будет получен при выпуске, как правило, не менее 5 млн. изделий в год.

Современное автомобилестроение становится все более динамичной отраслью промышленности — полная смена выпускаемых моделей происходит в 5...10 лет. При этом каждая модель может иметь несколько модификаций, а объем выпуска каждой модификации колебаться в соответствии со спросом на нее. В этих условиях неизбежна частая переналадка производственного оборудования.

Поскольку для автоматической линии это сопряжено с большими трудовыми и материальными затратами, их применение может оказаться неэффективным.

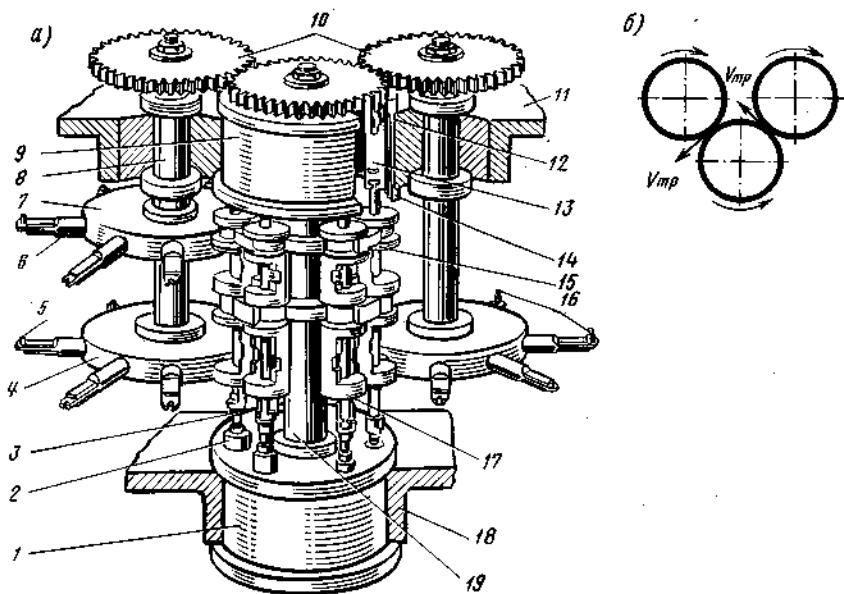


Рис. 10.2. Типовая роторная линия для сборки двух деталей:

*a* — общий вид; *б* — кинематическая схема;

1 — блок нижней системы привода сборочного ротора; 2 — ползуны нижнего привода; 3 — нижний шток инструментального блока; 4 — нижний диск транспортного ротора; 5 — собираемые детали; 6 — клешневые захваты; 7 — верхний диск транспортного ротора; 8 — вал транспортного ротора; 9 — блок верхней системы привода сборочного ротора; 10 — зубчатая передача транспортного вращения роторов; 11 — верхняя часть станины; 12 — торцовый кулачок верхней системы привода; 13 — ползун верхней системы привода; 14 — пазовый кулачок верхней системы привода; 15 — блокодержатели; 16 — собранные изделия; 17 — инструментальный блок; 18 — нижняя часть станины; 19 — основной вал сборочного ротора

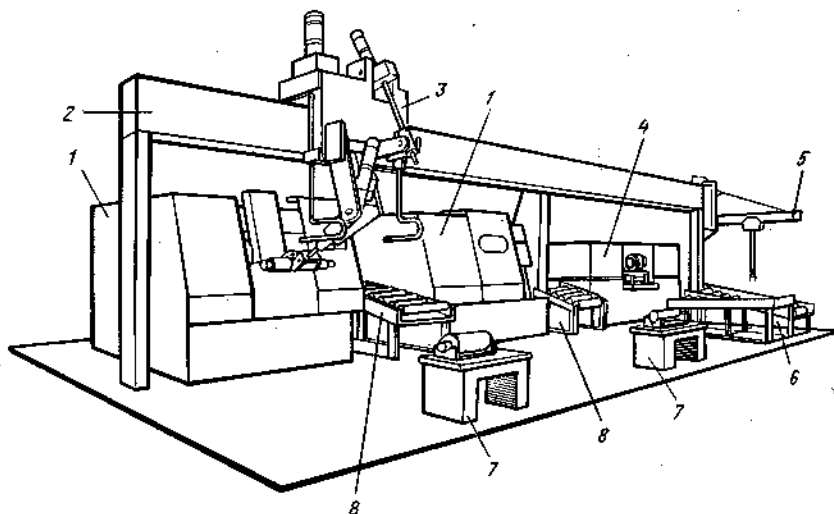


Рис. 10.3. РТК для механической обработки деталей типа тел вращения:  
 1— токарные станки; 2— монорельс (портал) ПР; 3— ПР СМ40Ф2.80.01; 4— фрезерно-центровальный станок; 5— тельфер; 6— роликовый конвейер; 7— загрузочная позиция; 8— промежуточные накопители

По этой причине в настоящее время в автомобилестроении сформировалась концепция так называемой *гибкой автоматизации*. Гибкость означает возможность устойчивого функционирования в условиях многономенклатурного производства, при частой смене предметов труда, программы выпуска, технологических условий и режимов. Наиболее характерными средствами гибкой автоматизации являются *промышленные роботы* (ПР), представляющие собой перепрограммируемые автоматические машины для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям человека, при перемещении предметов производства или технологической оснастки.

ПР состоит из двух основных систем: исполнительной системы, представляющей собой многосвязный манипулятор, и перепрограммируемой системы автоматического управления.

Такая структура обеспечивает ПР высокую гибкость. Для переналадки ПР с одной операции на другую обычно достаточно простой смены программы, что может происходить и автоматически.

В соответствии с производственным назначением различают два основных класса ПР: технологические и подъемно-транспортные. *Технологические ПР* предназначены для непосредственного выполнения основных технологических операций. Наиболее распространены ПР для сварки (дуговой и точечной), окраски распылением. Все более широкое применение находят ПР для сборки. Манипулятор технологического ПР оснащается соответствующим автоматизированным инструментом, например ПР для точечной сварки — сварочными клещами, промышленный робот для окраски — краскораспылителем и т. д.

*Подъемно-транспортные ПР* предназначены для загрузки и разгрузки различного автоматического и полуавтоматического оборудования, а также для выполнения транспортных и складских операций. ПР этого класса широко применяется в кузнечно-прессовом производстве, при обслуживании металлорежущих станков, для автоматизации процессов литья, термообработки, нанесения гальванопокрытий и др. Манипулятор подъемно-транспортного ПР

оснащается, как правило, захватным устройством (механическим, электромагнитным, вакуумным и т. п.).

Чтобы использовать ПР при автоматизации технологического процесса, необходимо установить вспомогательное оборудование и оснастку для подачи деталей к ПР, ориентирования и базирования этих деталей, накопления или транспортирования готовых изделий и т. д. Оборудование и ПР образуют *роботизированный технологический комплекс* (РТК). В зависимости от технологического назначения различают РТК для механической обработки деталей, сварки, окраски и т. д. На рис. 10.3 показан РТК, состоящий из двух токарных и одного фрезерно-центровального станков, обслуживаемых ПР. Такой РТК предназначен для механической обработки деталей типа тел вращения.

РТК могут быть построены на базе *стационарных и портальных* ПР.

В случае стационарных ПР применяется круговая компоновка РТК. При этом ПР размещается в центре, а вокруг него устанавливается соответствующее технологическое и вспомогательное оборудование. РТК строится по линейной компоновочной схеме (см. рис. 10.3), когда оборудование размещается вдоль портала ПР. Площадь, занимаемая РТК с линейной компоновкой, в 1,5...1,8 раза меньше площади соответствующего РТК с круговой компоновкой.

Автомобилестроение является одним из основных потребителей ПР, в промышленно развитых странах его доля составляет от 20 до 45 % общего парка ПР. Применение ПР позволяет повысить производительность труда, при этом существенно повышается качество продукции, а также сокращаются затраты на переналадку оборудования при переходе на выпуск нового изделия.

Глава 11

СТАРЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ И ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

11.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ

11.1.1. Основные понятия

Старением называется процесс необратимого изменения свойств и (или) состояния из-за структурных превращений, химических изменений в материалах, из которых изготовлены детали, а также вследствие постепенного накопления в элементах конструкции автомобиля микро- и макроповреждений при эксплуатации.

Наиболее часто наблюдаются следующие процессы старения: изнашивание, коррозия, усталость, структурные изменения и химические превращения в металлах: потеря некоторых свойств, как, к примеру, упругости, пластичности и др. Процессы старения всегда связаны со временем.

В связи с этим важными закономерностями для решения задач ремонта являются законы старения, устанавливающие связь изменений повреждений от фактора времени. Например, толщины изношенного слоя, остаточного прогиба при деформации детали, площади или глубины поврежденного коррозией слоя в зависимости от наработки. Использование этих закономерностей позволяет прогнозировать потерю работоспособного состояния автомобилем и его составными частями в любой момент времени.

Процесс старения детали обычно происходит в результате воздействия

нескольких разрушительных процессов. Если же оценивать старение механизма, то его состояние определяется с учетом старения всех деталей его образующих. Это обстоятельство налагает определенные требования к показателю для оценки старения. В качестве одного из основных требований он должен обладать свойством аддитивности, т. е. суммировать результаты старения каждой детали в «общем» процессе старения механизма, подобно тому, как определяется погрешность механизма по известным отклонениям размеров деталей, которые входят в его состав. Количественной оценкой погрешности механизма в этом случае является отклонение ведомого звена от заданного положения при фиксированном положении ведущего звена механизма.

Старение автомобиля является результатом воздействия большого числа факторов, многие из которых по своей природе случайные. Так же оказывается случайной комбинация их воздействия в случайные моменты времени. Поэтому для оценки состояния автомобиля должны быть использованы стохастические, т. е. случайные, а не функциональные связи, несмотря на то, что основой всех разрушительных процессов являются физические, химические, физико-химические и другие детерминированные закономерности. Однако для анализа с целью управления процессом старения более информативными и полезными оказываются функциональные зависимости.

Этим объясняется, что приходится рассматривать процессы, которые происходят на субмикроскопическом, микроскопическом и макроскопическом уровнях для выявления причинно-следственных связей тех явлений, которые наблюдаются при старении автомобиля в эксплуатации.

На субмикроскопическом уровне выявляют связи между атомами, рассматривают образование кристаллических решеток, изучают неравновесные положения атомов в кристаллических решетках, несовершенство кристаллов, взаимодействие и движение дислокаций, диффузию атомов в металлах, силу упругости, что составляет физическую основу для объяснения и решения задач долговечности и замедления старения. Полученные на этом уровне закономерности далее распространяют на небольшие объемы однородного по структуре и составу металла, т. е. на микроскопический уровень.

На микроскопическом уровне устанавливают связи между составом, структурой и свойствами материала на основе изучения явлений, которые происходят в микрообъемах на участках с однородной структурой и поверхностях трения с учетом влияния смазки и поверхностно-активных веществ. Установленные закономерности на этом уровне распространяют на всю деталь путем разработки соответствующих методов расчета.

### 11.1.2. Изнашивание

Изнашиванием называется процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличения его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела. Износ является результатом изнашивания и определяется в установленных единицах (толщины слоя, объема, массы).

Процесс изнашивания обычно происходит в три стадии. На стадии / (рис. 11.1) идет приработка

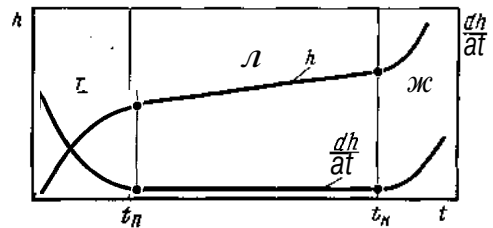


Рис. 11.1. Зависимость износа  $h$  и скорости изнашивания  $Ah/At$  от времени работы

сопряженных поверхностей деталей, занимающая небольшой отрезок времени  $t_n$ . При этом  $h$  изменяется нелинейно, скорость изнашивания высокая, но постепенно убывает. Если изнашивание одностадийное, т. е. нет изменения физико-химической природы при взаимодействии поверхностей трения в период  $0 \leq t \leq t_n$ , то износ в этот период характеризуется типовой закономерностью

$$h = a(1 - e^{-bt}),$$

где  $a, b$  — коэффициенты эмпирической функции.

Стадия // является наиболее продолжительной и характеризуется стационарностью процесса. Скорость изнашивания в этом случае небольшая и постоянная. В этом случае на участке  $t_n \leq t \leq t_k$  типовой закономерностью процесса износа является линейная зависимость

$$h = h_n + b_1(t - t_n),$$

где  $h_n$  — износ при  $t_n$ ;  $b_1$  — коэффициент эмпирической функции;  $t_k$  — момент времени, когда начинается ускоренный (катастрофический) износ.

Стадия /// — ускоренный износ, характеризующийся резко возрастающей скоростью износа вследствие изменяющихся условий трения из-за изменения размеров и формы трущихся поверхностей. Закономерность процесса при  $t \geq t_k$  будет описываться зависимостью

$$h = h_k + a_1 [e^{k(t-t_k)} - 1],$$

где  $h_k$  — износ при  $t_k$ ;  $a_1, k$  — коэффициенты эмпирической функции.

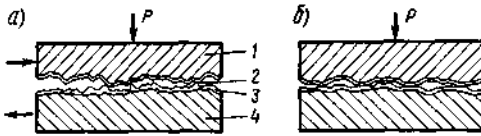


Рис. 11.2. Контактное сопряжение сопряженных поверхностей трения в начальный момент (а) и после приработки (б):

1, 4 — основной материал сопряженных деталей; 2 — пятно касания; 3 — масляная пленка на поверхности трения

В реальных условиях эксплуатации возможны отличные по форме кривые износа поверхностей деталей по сравнению с тем, что представлено на рис. 11.1. Это объясняется изменяющимися условиями трения и действующим многочисленными случайными факторами.

Износ появляется в результате взаимодействия трущихся пар. Из-за волнистости и шероховатости их поверхностей трения образуются пятна касания, в которых участвуют выступы с покрывающими их пленками и находящийся под ними материал (рис. 11.2). При перемещении одной поверхности относительно другой происходит соединение и разъединение контактов по выступам, а лежащий под ними материал значительно деформируется. Образующиеся и исчезающие при совместном действии нормальных и тангенциальных сил пятна касания при взаимодействии поверхностей трения называются фрикционными связями.

Сложность профиля реальной поверхности трения предопределяет дискретный характер контактирования сопряженных поверхностей с большим числом фрикционных связей. С первых минут работы сопряжения происходит изменение шероховатости поверхностей трения. Характер этого изменения зависит от того, *какая* шероховатость устанавливается после приработки сопряжения. В тех случаях, когда технологическая шероховатость близка к эксплуатационной, процесс приработки происходит быстрее и сопровождается меньшим износом.

Взаимодействие поверхностей трения имеет двойственную молекулярно-механическую природу. Механическое взаимодействие сопровождается зацеплением, соударением, взаимным внедрением микронеровностей. При относительном перемещении поверхностей трения будет происходить смятие, выглаживание и срезание выступов микронеровностей. Кроме того, разрушаются окисные пленки и в контакте оказываются незащищенные ювенильные поверхности соприкасающихся металлов, что создает благоприятные условия для молекулярного взаимодействия. Молекулярное взаимодействие проявляется в виде адгезии и схватывания вследствие взаимной диффузии атомов в кристаллические решетки металлов в местах контакта при трении. Схватывание в виде местного соединения двух металлических тел происходит в результате действия молекулярных сил при трении без смазки и разрушения окисной пленки в зоне контакта.

При возникновении мостиков сварки в местах схватывания происходит соединение поверхностей трения. При этом возможны два исхода: если сила молекулярного взаимодействия оказывается больше силы, вызывающей движение одной поверхности относительно другой, то относительное движение прекращается, т. е. возникает заедание; если меньше, то происходит разрушение адгезионной связи и движение одной поверхности трения относительно другой продолжается.

Разрушение адгезионной связи может происходить без переноса материала и с переносом с одной поверхности на другую. При таком переносе возникающие выступы на одной поверхности трения приводят к образованию задиоров на другой в виде глубоких и широких борозд в направлении скольжения.

Различают пять видов фрикционных связей (рис. 11.3). Связи а, б и в получаются при механическом взаимодействии, а г и д — при моле-



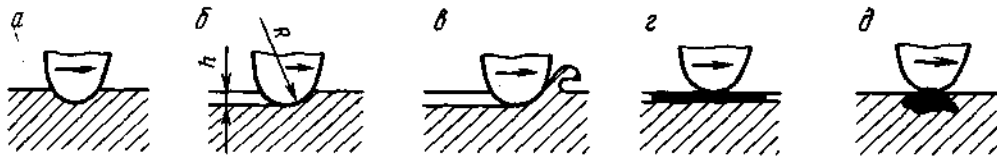


Рис. 11.3. Виды фрикционных связей

кулярном. В зависимости от степени адгезии и отношения глубины внедрения  $h$  к радиусу  $R$  внедряющейся неровности и будет происходить: упругое оттеснение металла ( $a$ ); пластическое оттеснение металла ( $b$ ); срез внедрившимся материалом ( $b$ ); схватывание пленок и их разрушение ( $z$ ); схватывание поверхностей, сопровождающееся глубинным вырыванием металла ( $d$ ). Переход от одного вида фрикционных связей к другому зависит от температуры поверхностей трения, молекулярного взаимодействия, а также от глубины взаимного внедрения неровностей, влияющего на характер механического взаимодействия поверхностей, физико-механических свойств металлов и микрорельефа поверхностей трения.

*Упругое оттеснение металла* происходит в результате упругой деформации отдельных микронеровностей на поверхности трения, когда нагрузка воспринимается этими микровыступами. Сначала они деформируются упруго, а при дальнейшем увеличении нагрузки — пластически, вызывая *пластическое оттеснение металла*. Поверхностные слои металла при таком деформировании упрочняются, микронеровности выглаживаются. Повторное нагружение поверхности вызывает пластическую деформацию этих выступов уже при большей нагрузке. В результате многократного повторного деформирования в поверхностном слое металла сначала образуется строчечная структура, а затем после использования всех плоскостей скольжения металл в этом слое приходит в состояние перенаклепа и делается хрупким. Многократные растяги-

вающие напряжения, возникающие в поверхностном слое под действием сил трения, приводят к образованию микротрещин на поверхности, которые разрастаются и вызывают отделение кусочков с тонкого упрочненного хрупкого слоя, образуя частицы износа.

*Микрорезание* происходит в том случае, если на поверхности трения имеется твердая частица *абразива* или частица износа либо контактирующий выступ, который внедряется на глубину  $(0,2...0,3)R$ .

Состояние фрикционных связей  $z$  и  $d$  зависит от соотношения прочности пленки и прочности основного металла, а также от напряженного состояния поверхностного слоя металла. Связь  $z$  имеет место, когда прочность пленки меньше прочности основного металла. В обратном случае устанавливается связь  $d$ . Таким образом, переход от схватывания пленок к схватыванию с металлом, сопровождающийся глубинным вырыванием металла, обуславливается соотношением прочности поверхностных пленок и прочности основного металла, т. е. зависит от градиента механических свойств по глубине слоя.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы. Основными причинами изнашивания деталей автомобиля являются усталость их поверхностных слоев при упругом деформировании и появление хрупкого тонкого поверхностного слоя при повторной пластической деформации. В связи с этим одной из наиболее важных характеристик износостойкости будет способность поверхностных слоев противостоять повторным деформациям. Износ деталей обуславливается влиянием внешних

факторов, к которым относятся: контактное напряжение, характер приложения нагрузки, скорость относительного перемещения трущихся тел и ее изменение во времени, температурный режим, форма и размер поверхностных неровностей и трущихся поверхностей, способ подвода смазки, ее количество и качество, присутствие абразивов в месте контакта и полнота удаления продуктов изнашивания из зоны трения и т. д. При изменении внешних факторов, например скорости скольжения, нагрузки и температуры, происходят изменения исходных свойств металла пар трения, а изменение внешней среды и состояние трущихся поверхностей определяют тип трения — без смазки, граничное или жидкостное. При жидкостном трении износ при равных других условиях будет минимальным по сравнению с граничным трением и трением без смазки (сухим).

Влияние внешних факторов на износ деталей автомобилей подробно изучено, и многие конкретные данные приведены в специальной литературе. При оценке влияния на износ того или иного фактора следует учитывать его способность вызывать определенный вид нарушения фрикционных связей. Действие того или иного фактора будет уменьшать износ и, следовательно, износостойкость пары трения возрастает, если при его увеличении (или уменьшении) произойдет переход от фрикционных связей  $\alpha$  (см. рис. 11.3) к  $\beta$ , а от  $\beta$  к  $\gamma$ . Если увеличение или уменьшение значения действующего фактора будет способствовать переходу от связей  $\alpha$  к  $\beta$  и от  $\beta$  к  $\gamma$ , то износ детали будет увеличиваться, а износостойкость снижаться.

При износе изменяются линейные размеры деталей, нарушается правильность их геометрической формы, например у цилиндрических деталей появляется овальность, бочкообразность, у плоских деталей — неплоскостность, у корпусных деталей — непараллельность осей отверстий.

Результатом контактной усталости металла являются образующиеся на поверхности трения раковины, в частности такие повреждения появляются на рабочих поверхностях зубьев шестерен, на беговой дорожке шариковых и роликовых подшипников.

Обеспечение долговечности автомобилей, безотказности их работы — одна из наиболее актуальных задач в автомобилестроении и ремонтном производстве. Решение ее связано прежде всего с обеспечением высокой износостойкости деталей. Помимо рационального выбора материала, методов его упрочнения, существует немало различных конструктивных приемов, которые позволяют увеличить срок службы деталей, работающих в условиях трения.

Изнашивание обычно характеризуется интенсивностью  $I$ , представляющей собой отношение износа  $h$  к обусловленному пути трения  $L$ , на котором происходило изнашивание, и является безразмерной величиной, т. е.  $I = h/L$ . Износ  $h$  называется линейным износом и характеризует изменение размера детали в направлении, перпендикулярном к поверхности трения.

Если износ зависит линейно от времени изнашивания  $t$ , тогда скорость процесса  $\gamma = h/t$  и связана с интенсивностью изнашивания соотношением  $\gamma = I/v$ , где  $v = L/t$  — скорость скольжения. Величины, обратные интенсивности и скорости изнашивания,  $1/I$  и  $1/\gamma$  характеризуют износостойкость материала, т. е. его свойство оказывать сопротивление изнашиванию.

В соответствии с теорией фрикционной усталости, элементный закон изнашивания, выявляющий связь интенсивности изнашивания с давлением на поверхности трения  $q$ , записывается так:

$$I = Kq^m,$$

где  $K$  — коэффициент пропорциональности;  $m$  — показатель степени ( $1 < m < 3$ ); для приработанных поверхностей условий абразивного изнашивания  $m = 1$ .

Отсюда  $h = Kq^m L$ ;  $\gamma = Kq^m v$ .

Интенсивность изнашивания определяется экспериментальным или аналитическим методом. Последний разработан в институте машиноведения имени акад. А. А. Благонравова. Этот метод позволяет делать расчет по исходным данным о физико-механических, фрикционных, усталостных, микро-, макрогеометрических и нагрузочных характеристиках фрикционного сопряжения. Аналитические зависимости приводятся здесь для простейшей расчетной схемы. В этом случае рассматривается изнашивание плоских тел в установившемся режиме сухого (без смазки) или граничного трения. Изнашиваемое тело — гладкое и деформируемое, контртело — жесткое и шероховатое. Номинальное давление и скорость скольжения постоянны во времени и равномерно распределены по поверхности контакта. Достоинство данной методики состоит в том, что ее можно применять и для более сложных случаев, так как она позволяет записать в явной форме параметры элементного закона изнашивания для бесконечно малого участка поверхности контакта, а далее, с учетом закономерностей изменения параметров на поверхности трения и геометрической ее формы, разработать частную методику количественной оценки износа типовой детали автомобиля.

Для основной расчетной схемы

$$l = \xi \frac{b \varepsilon^{\nu+1} R_{\max}}{(\nu+1) n l} \quad (11.1)$$

Здесь  $\xi$  — коэффициент, учитывающий отличие геометрической характеристики поверхности, выраженной с помощью опорной кривой  $t_p(\varepsilon)$ , от относительной площади фактического контакта, возникающее из-за деформации поверхностей в процессе трения.

Коэффициент

$$\xi = \frac{\eta_r}{t_p(\varepsilon)},$$

где  $\eta_r = A_r/A_c$  — относительная площадь фрикционного контакта;  $A_r$  — фактичес-

кая площадь фрикционного контакта;  $A_c$  — контурная площадь контакта. Коэффициент  $\xi = 0,5$  при упругом контакте, пластическом  $\xi = 1$ . Величины  $b$ ,  $\nu$  — параметры функции, аппроксимирующей начальный участок опорной кривой  $t_p = b \varepsilon^\nu$ ;  $R_{\max}$  — максимальная высота неровностей поверхности;  $n$  — число циклов фрикционного взаимодействия;  $l$  — средний диаметр элементарной зоны контакта;  $\eta_c$  — относительная контурная площадь контакта, равная отношению контурной площади контакта к номинальной;  $\varepsilon = P/R_{\max}$  — относительное сближение контактирующих тел под нагрузкой;  $P$  — абсолютное сближение.

Параметры  $\varepsilon$  и  $l$  определяются в зависимости от вида фрикционного контакта по следующим формулам:

для упругого взаимодействия

$$\varepsilon_y = \left( \frac{q \theta}{\eta_c b K_v} \sqrt{\frac{R}{R_{\max}}} \right)^{\frac{2}{2\nu+1}};$$

$$l_y = 2 \sqrt{R R_{\max}} \varepsilon_y / \nu,$$

где  $\theta = (1 - \mu^2)/E$  — постоянная упругости истираемого материала;  $E$  — модуль упругости;  $\mu$  — коэффициент Пуассона;  $R$  — средний радиус кривизны вершин микронеровностей;  $K_v$  — коэффициент, зависящий от параметра  $\nu$  аппроксимирующей функции опорной кривой;

для пластического взаимодействия:

$$\varepsilon_n = \left( \frac{q}{HB b \eta_c} \right)^{\frac{1}{\nu}}; \quad l_n = 2 \sqrt{2 R R_{\max}} \varepsilon_n / \nu,$$

где  $HB$  — твердость по Бринеллю.

Число циклов  $n$ , которое приводит к разрушению, определяется также в зависимости от вида контакта:

для упругого взаимодействия

$$n_y = (\sigma_0 / \sigma_\varepsilon)^{t_y};$$

для пластического взаимодействия

$$n_n = (t_0 / t_\varepsilon)^{t_n},$$

где  $\sigma_e$ ,  $t_y$ ,  $t_0$ ,  $t_n$  — константы фрикционной усталости материала;  $\sigma_e$ ,  $l_e$  — амплитудные значения действующего напряжения и деформации на контакте:

$$\sigma_e = \frac{K_{fy} l_y \sqrt{v}}{2R\theta}; \quad l_e = \frac{K_{fn} l_n \sqrt{v}}{2\sqrt{2}R}$$

$$\text{где } K_{fy} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \sqrt{4f^2(1-\mu+\mu^2) + (1-2\mu)^2} & \text{при } \frac{\sigma_{вп}}{\sigma_{вс}} \approx 1 \\ \text{(пластичные материалы);} \\ \frac{4}{\pi}(1+\mu) & \text{при } \sigma_{вп}/\sigma_{вс} \ll 1 \\ \text{(хрупкие и высокоэластичные} \\ \text{материалы),} \end{cases}$$

$\sigma_{вп}$  и  $\sigma_{вс}$  — пределы прочности материалов соответственно при растяжении и сжатии;  $f$  — коэффициент трения

$$K_{fn} = \sqrt{2 \frac{\sigma_{\tau} + 2fHB}{\sigma_{\tau} - 2fHB}}; \quad f < \frac{\sigma_{\tau}}{2HB} \leq 0,4;$$

$\sigma_{\tau}$  — предел текучести.

Если подставить в формулу (11.1) соответствующие выражения, то после преобразований получим общую аналитическую зависимость для расчета интенсивности изнашивания: для упругого взаимодействия

$$I_y = C \left( \frac{q\theta}{K_v} \right)^{1+\beta t_y} \left( \frac{K_{fy}}{\sigma_0 \theta} \right)^{t_y} \times \\ \times \left( \frac{R_{\max}}{R} \right)^{\frac{t_y(1+\beta)}{2}} (\eta_c b)^{-\beta t_y};$$

для пластичного взаимодействия

$$I_n = C \sqrt{2} \left( \frac{q}{HB} \right)^{\frac{1+\beta t_n}{1-\beta}} \left( \frac{K_{fn}}{l_0} \right)^{t_n} \times \\ \times \left( \frac{R_{\max}}{R} \right)^{\frac{1+t_n}{2}} (\eta_c b)^{\frac{-(1+t_n)\beta}{1-\beta}};$$

где  $C$  — коэффициент, зависящий от параметров  $v$  и  $t$ .

100

Интенсивность изнашивания при микрорезании упругих (хрупких) материалов

$$I_{my} = C_{my} q \theta, \\ \text{где } C_{my} = \frac{\sqrt{v}}{4(v+1)K_v}.$$

То же в условиях пластического контакта

$$I_{mn} \approx C_{mn} \left( \frac{q}{HB} \right)^{1+\frac{1}{2v}},$$

$$\text{где } C_{mn} = \frac{1}{2(v+1)(b\eta_c)^{\frac{1}{2v}}} \sqrt{\frac{vR_{\max}}{2R}}.$$

Для определения перехода от упругого взаимодействия к пластическому в условиях фрикционного контакта используется условие  $\sigma_e \geq C\sigma_{\tau}$  при  $n_y$ , где  $C = 5 \dots 10$ . Условие микрорезания для хрупких и пластичных материалов  $n_{y(n)} \approx 1$ .

Описанной методикой предусматривается расчет интенсивности изнашивания и для случаев, отличных от основной схемы, а также классификация сопряжений деталей машин и методы их расчета на износ.

Аналитические методы расчета износа поверхностей деталей автомобиля имеют определенные преимущества перед другими в том, что не требуется длительного времени для оценки износостойкости и, следовательно, значительных затрат ресурсов для принятия лучшего из числа возможных конструктивных, технологических решений как при создании автомобилей, так и при их ремонте. Основным недостатком этих методов является невысокая точность, однако для решения многих инженерных задач она оказывается достаточной.

Невысокая точность аналитических методов объясняется главным образом сложностью процесса изнашивания, обусловленного множественностью физической сущности факторов, одновременно воздейст-

вующих и вызывающих те или иные повреждения материала детали. Несмотря на то что в процессе трения одновременно наблюдается несколько видов изнашивания, в большинстве случаев проявляется в основном один вид, который и определяет характер и интенсивность износа.

Для того чтобы унифицировать представления о ведущих процессах, различают следующие виды изнашивания:

механическое — вследствие механического взаимодействия;

коррозионно-механическое — в результате механического взаимодействия, сопровождаемого химическим и (или) электрическим взаимодействием материала со средой;

абразивное — механическое изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия на него твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии;

газоэрозионное (газоэрозионное) — изнашивание в результате действия потока жидкости (газа);

гидроабразивное (газоабразивное) — абразивное изнашивание в результате действия твердых частиц, увлекаемых потоком жидкости;

усталостное — механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя;

кавитационное — механическое изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает местное высокое ударное давление или высокую температуру;

окислительное — коррозионно-механическое изнашивание, при котором преобладает химическая реакция материала с кислородом или окисляющей окружающей средой;

изнашивание при фреттинге — механическое изнашивание соприкасающихся тел при колебательном относительном микросмещении;

при фреттинг-коррозии — коррозионно-механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях;

электроэрозионное — эрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока.

Интенсивность изнашивания можно снизить уменьшением удельного давления на поверхности трения, равномерным распределением нагрузки по трущимся поверхностям, применением самосмазывающихся материалов, пластмасс, соответствующих смазок с присадками, которые позволяют увеличить долговечность в 1,5...2,0 раза. В несколько раз можно уменьшить износ деталей, используя эффект безызносности, состоящий в том, что на поверхности трения образуется тончайший разупрочненный слой металла, получающийся в результате воздействия поверхностно-активных веществ на легирующие компоненты сплава в процессе трения. Благодаря особым свойствам этого разупрочненного слоя он практически не изнашивается и обладает низким внутренним трением. Износ можно существенно уменьшить, если принять необходимые меры, предотвращающие попадание в зону трения пыли и абразива.

В местах предполагаемого износа в некоторых случаях целесообразно предусматривать сменные износостойкие вставки или применять компенсаторы износа трущихся пар и устройства, позволяющие автоматически поддерживать оптимальный зазор.

### 11.1.3. Деформация и разрушение

**Деформация.** Для детали может быть деформация обратимой (*упругой*) и необратимой, т. е. *остаточной*. Деформация возникает при появлении напряжений в материале детали. В случае если возникающие напряжения в материале детали

меньше предела его упругости, то будет иметь место главным образом упругая деформация. Однако упругая деформация может сопровождаться и остаточной деформацией при определенных условиях. Например, при повышенных температурах за счет ползучести, при нормальных температурных условиях за счет релаксации напряжений и т. д.

Остаточная деформация изменяет размеры и конфигурацию детали. Например, у такой сложной детали, как блок цилиндров двигателя, изменяется положение осей посадочных отверстий под гильзы, под вкладыши коренных подшипников коленчатого вала, а также появляется коробление и нарушается положение обработанных поверхностей относительно технологических баз. Аналогичное явление наблюдается у коленчатых валов, которые при эксплуатации изменяют форму из-за деформации шек, приобретая прогиб и изменяя взаимное расположение шатунных шеек. Подшипники скольжения, шатуны и поршневые кольца при работе также приобретают остаточную деформацию, что приводит к значительным искажениям их формы и понижению долговечности работы соответствующего узла. В большинстве этих случаев возникновение остаточной деформации является следствием недостаточного сопротивления материала действию монтажных напряжений и низким пределом его прочности. Поэтому для повышения долговечности деталей автомобиля, работающих в аналогичных условиях, необходимо по возможности увеличивать предел прочности и соответственно твердость материала.

**Разрушение.** При разрушении происходит полное расчленение детали. Разрушения деталей бывают вязкими, хрупкими и усталостными. *Вязкое разрушение* происходит от касательных напряжений вследствие значительной пластической деформации. Плоскость разрушений расположена под углом к направлению

приложения нагрузки и совпадает с направлением действия касательных напряжений.

*Хрупкое разрушение* происходит под действием нормальных напряжений. Ему предшествует незначительная пластическая деформация и очень часто оно происходит в упругой области. При этом плоскость разрушения оказывается перпендикулярной направлению приложения нагрузки. Процесс разрушения состоит из двух стадий: в первой стадии происходит зарождение трещины, а во второй — ее развитие через все сечение детали. Принципиального нет различия по механизму зарождения трещин вязкого и хрупкого разрушения. Различие между ними обнаруживается лишь в скоростях распространения трещины. В случае вязкого разрушения скорость эта соизмерима со скоростью пластической деформации металла, т. е. мала. При хрупком разрушении эта скорость очень велика и достигает 0,4...0,5 скорости распространения звука в данном материале. Хрупкое разрушение происходит при напряжениях меньше расчетных, определяемых по пределу текучести, не поддается диагностическому контролю и обычно приводит к авариям, поэтому оно наиболее опасно.

Механизм зарождения трещины в металлических деталях объясняется дислокационной теорией. Независимо от вида разрушения (вязкое или хрупкое) ему предшествует пластическая деформация, происходящая вследствие движения дислокаций. Трещины обычно возникают в местах скопления дислокаций, причиной для образования которых служат препятствия движению их в виде включений избыточных фаз, границ зерен, двойников и т. д. В местах скопления дислокаций до критических размеров происходит слияние объемов, возникает пустота, которая способна к росту в виде трещин. Может быть и другой механизм зарождения трещины, когда при пластической деформации происходит межзеренное

скольжение. В этом случае по границам зерен будут действовать касательные напряжения и трещина зарождается вблизи места стыка трех зерен, которая в дальнейшем получает развитие вдоль их границ. По виду излома можно определить вид разрушения. Вязкий излом имеет матовый оттенок, хрупкий излом блестящий.

**Усталостное разрушение** деталей является результатом многократного приложения нагрузок и происходит при напряжениях, значительно меньших, чем в случае однократного нагружения. Трещина при усталостном разрушении зарождается в поверхностных слоях, где действуют максимальные растягивающие напряжения. Механизм зарождения трещины и ее последующий рост основаны на дислокационном представлении образования трещины при циклическом нагружении. Получающийся усталостный излом имеет специфическое строение, в котором четко обнаруживается место возникновения микротрещин 1 (рис. 11.4), зона усталости 2, т. е. существования детали с макротрещиной, и зона долома 3. Причиной хрупкого излома являются динамическое приложение нагрузки, наличие концентраторов напряжений в опасном сечении деталей и хладноломкость материала.

Усталостные разрушения происходят при напряжениях ниже предела текучести. Усталостные трещины, возникнув в микрообъеме металла, постепенно под влиянием переменной нагрузки распространяются в глубь тела детали. По мере ослабления сечения темп развития трещины усиливается и при определенном остаточном сечении происходит полное разрушение детали.

Чтобы повысить долговечность деталей автомобиля, которые подвергаются разрушениям, необходимо конструктивными и технологическими изменениями обеспечить устранение таких концентраторов напряжений, как резкие переходы от одной по-

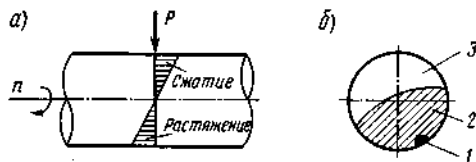


Рис. 11.4. Распределение напряжений при знакопеременном нагружении (а) и вид усталостного излома (б)

верхности к другой, уменьшить шероховатость поверхностей, увеличить предел прочности и выносливости выбором соответствующего металла и его химико-термической обработки.

#### 11.1.4. Коррозия

Повреждения от коррозии представляют собой разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой. Коррозионные процессы многообразны и поэтому их классифицируют по двум типам и 36 видам. Типы коррозии металлов различаются механизмами взаимодействия металла с коррозионной средой, а виды отличаются коррозионными средами и характером разрушения. По типу коррозию делят на электрохимическую и химическую. Наиболее часто встречаются коррозионные разрушения, вызванные следующими видами коррозии: атмосферной, местной, сплошной, подповерхностной, сквозной, структурной, межкристаллитной, фреттинг-коррозией. Разрушение при *атмосферной коррозии* начинается с окисления поверхности металла в отдельных активных местах и образования на металлической поверхности окислов (ржавчины) под влиянием хемосорбции атомов кислорода металлической поверхностью. Окисление происходит в результате внедрения атомов кислорода в решетку металла при сохранении решетки ее ориентации. Образуются следующие окислы железа:  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ . В зависимости от условий окисления

изменяется строение пленок окисла. Обычно пленки окислов являются многослойными.

Процесс *электрохимической коррозии* объясняется действием микрогальванических элементов. Анодом и катодом могут служить различные структурные составляющие сплава, граница и сердцевина зерна металла, напряженный и ненапряженный участки металла, чистый металл и его окислы. Интенсивность процесса электрохимической коррозии зависит от доступа кислорода к поверхности металла, химического состава сплава, плотности продуктов коррозии, которые могут резко замедлять электрохимический процесс, структурной неоднородности металла, наличия и распределения внутренних напряжений. Металл, подвергнутый действию внутренних напряжений, корродирует интенсивнее.

Типовая закономерность протекания коррозии металла элементов кузова автомобиля выражается зависимостью

$$Z = a(1 - e^{-K_0 t}),$$

где  $Z$  — толщина слоя металла, поврежденного коррозией;  $a$  — начальная толщина металлического элемента кузова;  $K_0$  — скорость окислительной реакции, т. е. глубина коррозионного разрушения металла в единицу времени;  $t$  — продолжительность воздействия внешней среды на элемент кузова.

Чтобы ослабить разрушительное действие коррозии, необходимо поверхность металла, там, где это возможно, защищать соответствующими покрытиями, подбирать более однородные по составу сплавы или применять сплавы с легирующими добавками, повышающими их коррозионную стойкость, например с добавками хрома, алюминия, кремния.

### 11.1.5. Эрозия и кавитация

Такого рода повреждения деталей автомобилей возникают при действии на металл потока жидкости, дви-

жущейся с большой скоростью. Механизм эрозионного повреждения металла детали состоит в том, что при непрерывном контакте металла со струей жидкости на поверхности металла образуются пленки окислов, которые при трении потока жидкости о металл разрушаются и удаляются с поверхности. На поверхностях деталей, подвергающихся жидкостной эрозии, образуются пятна, полосы, вымоины. Таким повреждениям подвергаются детали системы охлаждения двигателя, крылья кузова, воспринимающие со стороны колес поток воды, песка и мелких камней. Содержание в потоке воды абразивных частиц интенсифицирует процесс эрозии.

Кавитационное повреждение металла происходит тогда, когда нарушается сплошность потока жидкости и образуются кавитационные пузыри. Кавитационные пузыри, которые находятся у поверхности детали, уменьшаются в объеме с большой скоростью, что приводит к гидравлическому удару жидкости о поверхность металла. Сосредоточение в одном месте на поверхности металла большого количества таких ударов и вызывает образование кавитационных разрушений в виде каверн диаметром 0,2...1,2 мм. Такому разрушению часто подвергаются детали системы охлаждения двигателя, например гильзы цилиндров, посадочные пояски блоков цилиндров под гильзу, патрубки и др. Для увеличения долговечности деталей, подвергающихся эрозионному и кавитационному повреждению, необходимо повышать их коррозионную стойкость, износостойкость, а также твердость материала. При прочих равных условиях кавитационная стойкость материала зависит от его твердости. Для однородных по составу металлов интенсивность их разрушения значительно понижается с увеличением твердости.

Износ рабочих поверхностей и сопряжений деталей, отдельных механизмов и агрегатов автомобилей,



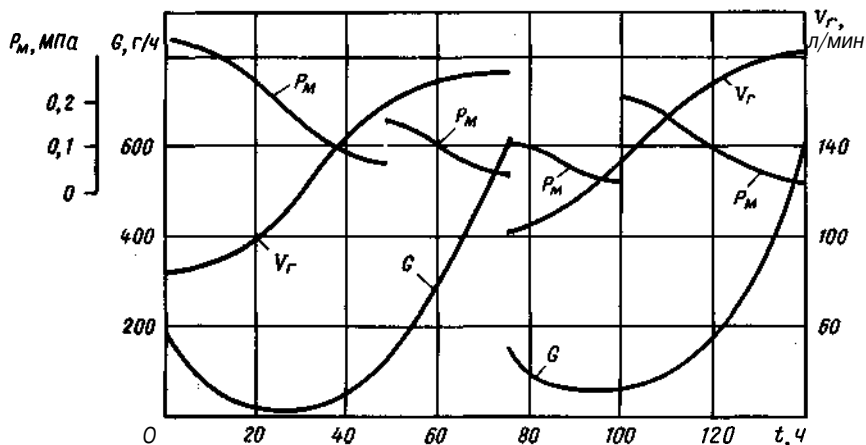


Рис. 11.5. Изменение показателей технического состояния двигателя ЗМЗ-53 при ускоренных стендовых испытаниях до предельного состояния [4]:

$P_m$  — давление масла при максимальной мощности;  
 $V_r$  — прорыв газов в картер при полной нагрузке и максимальном крутящем моменте;  $G$  — угар масла

а также возникающие и другие повреждения вызывают изменение их показателей технического состояния. Например, у двигателя по мере износа увеличиваются зазоры и, как следствие, снижается давление масла в магистрали. Снижение давления масла сокращает подачу масла к поверхности трения. Поверхность трения в этом случае сильно засоряется продуктами износа, так как через зазор в меньшем объеме прокачивается масло и, следовательно, в меньшем количестве уносятся с маслом продукты износа, хуже охлаждается поверхность трения.

Кроме того, по мере износа поршневых колец и гильз цилиндров нарушается герметичность этого сопряжения и увеличивается прорыв газов в картер. Это сопровождается увеличением температуры поверхности трения в сопряжении поршневое кольцо — гильза цилиндров, что вызывает повышенный угар масла и снижение рабочего давления в цилиндре (рис. 11.5). Разрывы кривых на графиках обуславливаются заменой критически изношенных (до предельного состояния) деталей. Характерной особенностью приведенных графиков является также и то, что замена некоторых критичес-

ки изношенных деталей не восстанавливает до начального технического состояния двигатель по соответствующему показателю. Несмотря на неоднократную замену критически изношенных деталей, показатели, характеризующие техническое состояние двигателя, постоянно ухудшаются с возрастающим темпом их изменения по мере старения двигателя.

Длительное наблюдение за автомобилями в эксплуатации позволило установить ряд закономерностей изменения важнейших технико-экономических показателей автомобиля по мере их старения. Так, трудоемкость  $T$  технического обслуживания автомобиля (рис. 11.6) с увеличением срока его службы  $t$  растет, увеличивается расход  $P$  запасных частей, производительность автомобиля  $Y$  снижается, а себестоимость перевозок  $C$  возрастает. Себестоимость перевозок увеличивается вследствие того, что уменьшается время полезной работы из-за простоев в ремонтах и увеличивающихся эксплуатационных затрат на поддержание автомобиля в работоспособном состоянии, т. е. наступает момент, когда автомобиль оказывается экономически неэффек-

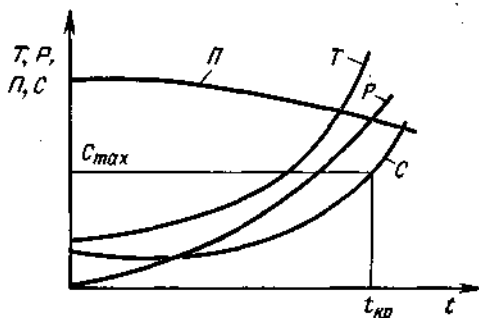


Рис. 11.6. Изменение основных показателей автомобиля в зависимости от срока его службы:

$C_{max}$  — критическая себестоимость перевозок;  
 $t_{кр}$  — критический срок службы автомобиля, соответствующий сдаче в капитальный ремонт или списанию

тивно продолжать эксплуатировать. В этом случае автомобиль необходимо капитально отремонтировать, восстановив его техническое состояние до начального уровня или близкое к нему, либо реализовать за меньшую стоимость по сравнению с начальной другому предприятию, либо списать. Принимается то решение, которое обеспечит наибольший экономический эффект автотранспортному предприятию в соответствии с финансовыми его возможностями.

## 11.2. ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ АВТОМОБИЛЯ И ЕГО СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

Предельным состоянием (ПС) автомобиля и его составных частей называется состояние, при котором их дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление их невозможно или нецелесообразно. Таким образом, из определения следует, что обоснованное принятие решения (что с автомобилем следует делать по мере его старения) непосредственно связано с умением оценивать ПС автомобиля и его составных частей. Так, например, необходимость смены масла в картерах агрегатов связана с достижением предельного состояния масел при

изменении их смазывающих свойств; выполнение регулировочных работ обуславливается достижением предельных зазоров в сопряжениях; замена или ремонт детали диктуется износом хотя бы одной рабочей ее поверхности до предельного размера.

Учитывая изложенное, для каждого вида технического обслуживания (ТО), текущего и капитального ремонтов (ТР и КР), списания автомобиля устанавливается соответствующее предельное состояние, характеризующее определенными признаками. Признаки (параметры), которые характеризуют ПС объекта, называются *критериями*. Следует иметь в виду, что предельное состояние, как правило, оценивается несколькими критериями, которые устанавливаются производителем автомобиля и отражаются в технических условиях и технологических картах на проведение ТО, ТР, КР и списания автомобиля.

Систематизация признаков ПС автомобиля позволяет классифицировать критерии следующим образом: количественные и качественные; основные и дополнительные; единичные и комплексные; абсолютные и относительные; относящиеся ко всему изделию или его составным частям; по виду воздействия при достижении предельного состояния — ТО, ТР, КР или списание; по причинам возникновения ПС объекта — физические, химические и механические; по области анализа — социальные, функциональные, технико-экономические; по методу определения — аналитические, экспериментальные и экспертные; по виду связи с причиной ПС объекта — косвенные и прямые; по методу диагностирования — субъективные и объективные.

Классификация позволяет однозначно подойти к выбору критериев предельного состояния объектов для ремонтной документации, обуславливает единые требования к признакам ПС автомобилей и приспосабливает их к ТО, ТР и КР. Кроме

того, она создает предпосылки для разработки эффективных средств технического диагностирования, в том числе и предремонтного, что, естественно, позволит снизить затраты на ремонт автомобилей. Рассмотрим определение критериев ПС на примере изнашивания. Для расчета долговечности автомобиля необходимо установить значения, до которых можно допускать износ отдельных деталей, сопряжений и механизмов, т. е. их *предельный износ*.

В тех случаях, когда деталь работает в составе механизма, предельный ее износ определяется с учетом влияния износа всех деталей, входящих в состав размерной цепи. Износ механизма характеризуется отклонением ведомого звена. Если известным является эксплуатационный допуск  $T_{\Delta 3}$  замыкающего звена размерной цепи, то предельный износ  $i$ -го звена, у которого скорость износа максимальная,

$$h_{\text{при}} = T_{\Delta 3} \gamma_i / \sum_{j=1}^{m-1} \gamma_j \xi_j \quad (11.2)$$

где  $\gamma_i$  — скорость изнашивания поверхности, для которой рассчитывается предельный износ;  $\gamma_j$  — скорость изнашивания  $j$ -й поверхности;  $\xi_j$  — передаточное отношение  $j$ -го звена;  $m$  — число звеньев размерной цепи.

В тех случаях, когда износ деталей непосредственно установить невозможно, сначала устанавливают предельное состояние объекта по наработке до отказа и определяют значение одного или нескольких определяющих работоспособность параметров (рис. 11.7).

Для определения допустимого интервала работы объекта используются допустимые пределы (границы). Изменение определяющего параметра происходит случайным образом и о предельном его значении или значениях судят по проценту отказавших объектов, содержащихся в интервале между двумя пределами. Интервал между двумя пределами образует как бы область отказов заданного количества объектов.

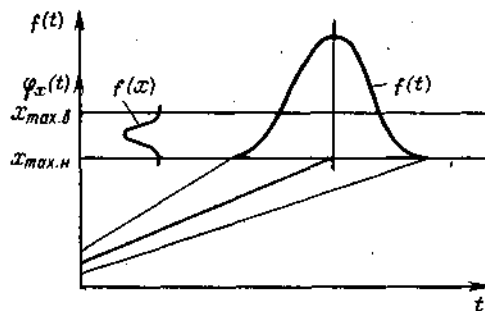


Рис. 11.7. К расчету значения определяющего параметра предельного состояния объекта

При нормальном законе распределения; показателя  $x$  в генеральной совокупности оказывается возможным по выборочным характеристикам  $x$  и  $s$  найти значения параметра, соответствующие нижней и верхней толерантным границам:

$$x_{\text{max.н}} = \bar{x} - k_s; \quad x_{\text{max.в}} = \bar{x} + k_s,$$

где  $k$  — коэффициент, определяющий ширину толерантного интервала.

На рис. 11.7 показана зависимость определяющего параметра  $x$  от наработки и плотность распределения вероятностей наработки до отказа  $f(t)$ . Кроме того, показана область, в которую с вероятностью  $Y$  можно гарантировать попадание доли совокупности отказавших объектов, не меньшей заданного предела  $P$ -объектов. Коэффициент

$$k = k_4 \left( 1 + \frac{x_\gamma}{\sqrt{2n}} + \frac{5x_\gamma^2 + 10}{12n} \right),$$

где  $n$  — число объектов в выборке;  $k_\infty$  — значение квантиля нормального закона для нормированной и централизованной величины  $t = k_\infty$ , принимаемое по таблицам математических справочников, используя выражение  $k_\infty = \Phi_1^{-1}(P/2)$ . При заданном значении вероятности, например  $P = 0,9$  (характеризует долю отказавших объектов),  $k_\infty = \Phi_1^{-1}(0,45) = 1,64$ ;  $x_\gamma$  — квантиль функции нормального распределения, также определяемый по таблицам, используя выражение  $x_\gamma = \Phi_1^{-1}(\gamma - 0,5)$ .

Для  $\gamma = 0,99$  получаем  $x_\gamma = 2,33$ . В результате  $k = 1,72$ , если  $n = 1450$  объектов.

## Глава 12

### АВТОМОБИЛЬ КАК ОБЪЕКТ РЕМОНТА

#### 12.1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КАЧЕСТВО ПРИ РЕМОНТЕ

Для того чтобы автомобили можно было использовать по назначению, необходимо еще до их производства четко сформулировать требования, которым они должны удовлетворять. Эти требования регламентированы нормативно-технической документацией (НТД) и являются весьма разноплановыми, а материализация их в процессе проектирования и производства позволяет формировать свойства автомобилей и их составных частей. Под свойством автомобиля понимают объективную его особенность, проявляющуюся при его создании, эксплуатации и ремонте. *Качество автомобиля* определяется совокупностью свойств, обуславливающих удовлетворение определенных потребностей в соответствии с его назначением.

Хорошее знание свойств автомобилей, умение их оценивать, формировать и поддерживать на требуемом уровне на различных этапах их жизненного цикла позволяют обеспечивать наиболее эффективное их использование и более полное удовлетворение заказов на перевозку.

В связи с этим целесообразно классифицировать свойства автомобиля по определенным признакам, относящимся, в частности, к обеспечению: движения автомобиля, безопасности движения, технологичности изготовления, производительности, топливной экономичности, надежности, технической эстетики, эргономики, патентно-правовой защиты, экономики изготовления, эксплуатации, ремонта. Разделение свойств автомобилей на группы носит условный характер, так как они находятся в сложных и часто противоречивых зависимостях. Кроме того, при анализе какого-либо конкретного свойства часто возникает необходимость дальнейшего его разложения на сос-

тавляющие. Инженерам, работающим в области ремонта, необходимо прежде всего глубоко изучать те свойства автомобилей и их составных частей, которые приходится формировать при их восстановлении.

Автомобиль как объект ремонта представляет собой техническую систему, выработавшую основной установленный ресурс или не способную выполнять свои функции из-за потери работоспособности вследствие достижения предельного состояния базовых и основных деталей, снижения эффективности эксплуатации ниже допустимого уровня либо необеспечения безопасности дорожного движения.

Так, например, износ деталей газораспределительного механизма, изменение надпоршневого зазора из-за износов деталей кривошипно-шатунного механизма и цилиндрической группы поршневой группы приводят к значительному увеличению расхода топлива и масла, снижению мощности, повышенной дымности и другим негативным последствиям. Снижение уровня надежности автомобилей и их составных частей приводит к большому объему потребляемых затрат, трудовых и материальных ресурсов на проведение ремонтов как в условиях АТП, так и на ремонтных предприятиях.

В соответствии с этим в ряду многочисленных свойств автомобилей и их составных частей (АиСЧ) как объектов ремонта (ремонтного фонда) особое место занимают надежность, топливная экономичность, стоимость ремонта, степень воздействия на окружающую среду и др. В общем случае надежность автомобиля достигается конструктивными, технологическими и эксплуатационными методами, обеспечивающими формирование таких показателей надежности, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

При эксплуатации автомобиля его элементы постоянно подвергаются действию разрушительных процессов.

Способность элемента оказывать сопротивление таким процессам характеризует его безотказность и долговечность. Для того чтобы хорошо ремонтировать автомобили, необходимо глубоко знать механизм этих процессов, так как от этого во многом будет зависеть реализация потенциальной *восстанавливаемости*, под которой подразумевается свойство деталей и сборочных единиц, выработавших установленный ресурс, иметь возможность восстановления физико-механических свойств поверхностного слоя материала деталей, размеров, формы и прочих исходных показателей качества.

Особенностью АиСЧ как объектов ремонта является нестабильность и неоднородность их технического состояния, проявляющихся в значительном разбросе качественных характеристик деталей, сопряжений, механизмов, что отражается в количественных потребностях в ремонте и его организации, глубине ремонтных воздействий, себестоимости и качестве ремонта и, следовательно, в технико-экономических показателях деятельности ремонтных предприятий.

Стохастические свойства ремонтного фонда являются результатом прежде всего случайности накопления неисправностей, приводящей к множественности его исходного состояния, что порождает неопределенность. При устранении неисправностей автомобиля приходится сталкиваться с огромным числом возможных повреждений. Однако детальное их изучение позволяет обнаружить устойчивые комбинации повреждений, благодаря чему создаются условия для разработки типовых технологических процессов, с помощью которых можно обеспечить эффективную организацию производства. Это явление характерно и для автомобиля в целом и для деталей.

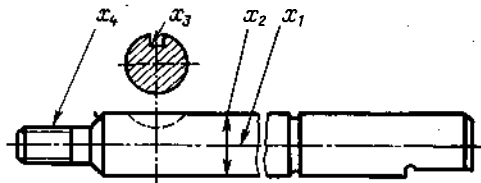


Рис. 12.1. Вал водяного насоса двигателя

На рис. 12.1 приведен эскиз вала водяного насоса двигателя ЗИЛ 130, который имеет четыре возможных дефекта с различной частотой появления:

$x_1$	— непрямолинейность оси . . . . .	0,56
$x_2$	— износ поверхности под подшипники . . . . .	0,14
$x_3$	— износ шпоночного паза . . . . .	0,11
$x_4$	— повреждение резьбы . . . . .	0,21

При изучении состояния этих валов на ремонтном заводе в объеме репрезентативной выборки было установлено 10 сочетаний дефектов и их частотность:

$x_1$	. . . . .	0,36	$x_1x_3$	. . . . .	0,5
$x_2$	. . . . .	0,03	$x_1x_4$	. . . . .	0,08
$x_3$	. . . . .	0,03	$x_1x_2x_3$	. . . . .	0,01
$x_4$	. . . . .	0,06	$x_1x_2x_3$	. . . . .	0,04
$x_1x_2$	. . . . .	0,06	$x_1x_3x_4$	. . . . .	0,02

Кроме того, 26 % валов оказались годными к повторному использованию без ремонта.

В процессе ремонта АиСЧ должны также подвергаться модернизации. Это вызывается тем обстоятельством, что заводом-изготовителем в их конструкцию вносятся изменения. Автомобили и составные части после ремонта должны отвечать требованиям конструкторской документации последних модификаций.

## 12.2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Показателями качества АиСЧ называются количественные характеристики их свойств, а технологическими показателями — те количественные характеристики, которые

определяют свойства, обусловленные технологией изготовления или ремонта. В зависимости от того, какую совокупность свойств показатели характеризуют, их разделяют на единичные и комплексные. Единичным показателем называют показатель, характеризующий только одно свойство. Показатель, характеризующий несколько свойств, называется комплексным.

По способу выражения показатели оцениваются в определенной размерности (миллиметрах, ньютонах и т. п.) или являются безразмерными, т. е. относительными показателями, которые устанавливают соотношение между показателем данного свойства и исходного, принятого для сравнения. Исходный показатель называется базовым или эталонным. По методам оценки показатели делят на определяемые техническими средствами измерения, при помощи математических моделей, математической обработкой статистической информации, экспертными методами.

Технологические показатели обычно группируют по признаку принадлежности к автомобилю, сборочной единице или к детали. Технологическими показателями детали как совокупности элементарных поверхностей являются точность геометрических и кинематических параметров (линейные и угловые размеры, форма поверхности, взаимное расположение поверхностей), уровень и стабильность механических свойств материала, шероховатость и волнистость поверхностей, уравновешенность вращающихся масс.

Качество сборочных единиц определяется всей совокупностью показателей, характеризующих их детали, и оценивается комплексными показателями (точность сборочных размеров, КПД механизмов и систем, потеря мощности на прокрутку, уровень токсичности и т. п.).

К показателям, характеризующим качество автомобиля в целом, кроме по

вышеприведенных, можно отнести: уровень соответствия регулирования систем заданным параметрам; точность взаимного положения соединяемых сборочных единиц и элементов; степень затяжки болтовых соединений; уровень воспроизводства и стабильность художественной формы, выразительность цвета и прочность лакокрасочных покрытий и др.

Однако не все технологические показатели непосредственно характеризуют то или иное свойство качества детали, сборочной единицы. Часто конкретное свойство может быть охарактеризовано не одним, а несколькими показателями. Так, качество подвижных соединений оценивается обеспеченностью жидкостным трением и сохранением его в процессе длительной эксплуатации автомобиля с учетом износа деталей. При потере этого свойства по мере износа поверхностей трения увеличивается зазор и жидкостное трение может нарушиться, что приведет к образованию металлического контакта и, как следствие этого, интенсификации изнашивания.

Жидкостное трение обуславливается минимальной толщиной масляного клина в месте контакта. Эту толщину  $h_{\min}$  в зоне максимального давления в подшипнике скольжения определяют по формуле

$$h_{\min} = \frac{d^2 n \eta}{18,36 K S C},$$

где  $d$  — диаметр вала;  $n$  — частота вращения вала;  $\eta$  — вязкость масла;  $K$  — удельная нагрузка на вал;  $S$  — зазор;  $C = (d + l)/l$  — геометрический фактор подшипника;  $l$  — длина подшипника.

Формула показывает на сложную связь между зазором подвижного сопряжения и свойством, определяющим его качество, т. е. наличием минимально необходимой толщины масляного клина. Поэтому зазором нельзя оценить непосредственно качество подвижного соединения,

зазор может быть его косвенной характеристикой. Учет этих обстоятельств необходим при анализе взаимосвязи технологических показателей качества с эксплуатационными свойствами отремонтированных АиСЧ.

### 12.3. СВОЙСТВА, ОБУСЛОВЛИВАЮЩИЕ НАДЕЖНОСТЬ

Для современных автомобилей и их составных частей характерно усложнение конструкции, снижение материалоемкости и габаритов, рост мощности, силовой и тепловой напряженности отдельных конструктивных элементов, что затрудняет удовлетворение требований по надежности, в частности ремонтпригодности.

Под надежностью понимают свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Из практики известно, что под действием различных факторов значения параметров  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ , характеризующих выполнение опреде-

ленных функций изделием, с наработкой изменяется и достигает одной из предельных границ допуска  $\theta_{пр}$  (рис. 12.2). Под параметром понимается некоторая выходная характеристика детали, сопряжения, сборочной единицы или автомобиля в целом, в качестве которой принимается один или несколько технологических показателей качества.

Выход значения параметра за границы предельного значения классифицируется как отказ, если при этом происходит нарушение *работоспособного состояния* объекта, т. е. такого состояния, при котором значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации. Например, давление в масляной магистрали двигателя в пределах необходимой частоты вращения коленчатого вала не должно быть меньше минимального значения, уровень вибрации или шума при работе изделия не должен превышать предельного уровня.

Отказы обычно подразделяются на внезапные и постепенные. Первые характеризуются скачкообразным изменением значений одного или нескольких заданных параметров объекта. Внезапные отказы происхо-

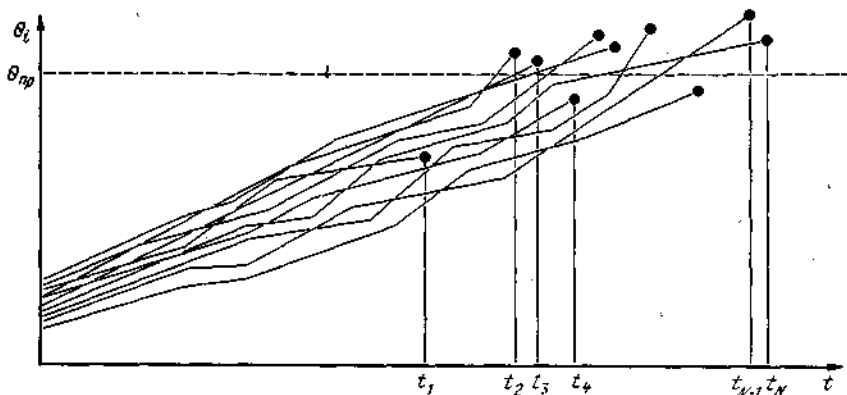


Рис. 12.2. Реализация изменения параметра, характеризующего работоспособность элемента автомобиля:

$t_1 \dots t_N$  — наработка до отказа объектов наблюдения в выборе из  $N$  объектов

дят в случайные моменты времени, которые точно прогнозировать невозможно, а можно лишь характеризовать наступление или ненаступление данного события с любой вероятностью.

Постепенный отказ характеризуется плавным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта. Например, монотонное возрастание износа деталей цилиндропоршневой группы двигателя, вызывающее усиление дымности, снижение топливной экономичности и мощности. Следует отметить, что разделение отказов на постепенные и внезапные отказы носит условный характер. Например, постепенное изнашивание рабочих поверхностей деталей коробки передач увеличивает зазоры (осевые и радиальные) и приводит к внезапному самовыключению передачи.

Составные части автомобилей подразделяются на ремонтируемые и неремонтируемые. Для первых в нормативно-технической и (или) конструкторской документации предусмотрено проведение ремонтов, а для вторых не предусмотрено.

Надежность изделий обуславливается их безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью. *Безотказность* — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Основными показателями безотказности являются: вероятность безотказной работы, т. е. вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает; средняя наработка на отказ — отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки; параметр потока отказов — отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку к значению этой наработки; средняя наработка до отказа — математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

*Долговечность* — свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. К основным показателям долговечности относятся: средний ресурс, под которым понимают математическое ожидание ресурса объекта (например, средний ресурс до капитального ремонта); гамма-процентный ресурс — наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах, и другие показатели.

*Ремонтпригодность* — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

*Сохраняемость* — свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования.

В расчетах надежности параметры рассматриваются как случайные величины, принимающие то или иное значение, неизвестное заранее. Пусть  $T$  — случайная величина, равная времени наработки до отказа, а  $t$  — некоторое фиксированное время. Вероятностью безотказной работы  $P(t)$  называется вероятность того, что  $T > t$ , и, следовательно, отказа не произойдет, т. е.  $P(t) = P(T > t)$ . Это выражение называется функцией надежности. Вероятность события, состоящего в том, что за время  $t$  произойдет отказ, называют вероятностью отказа или функцией ненадежности

$$q(t) = 1 - P(t) = P(T < t).$$

Из этого уравнения вытекает, что вероятность отказа  $Q(t)$  за время  $t$  представляет собой интегральную



функцию распределения случайной величины  $T$  до отказа, т. е.

$$Q(t) = F(t). \quad (12.1)$$

Производная от интегральной функции распределения  $F(t)$  является плотностью распределения времени до отказа

$$f(t) = dF(t)/dt. \quad (12.2)$$

Вероятность безотказной работы за время  $t$  определяется выражением

$$P(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt,$$

а вероятность отказа

$$Q(t) = 1 - \int_0^{\infty} f(t) dt. \quad (12.3)$$

Среднее время до отказа в интервале наработки от 0 до  $\infty$  рассчитывают по формуле

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} tf(t) dt.$$

Интенсивность отказов невосстанавливаемого изделия в единицу времени наработки

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (12.4)$$

Используя (12.1) и (12.2), равенство (12.3) после подстановки в (12.4) вместо  $f(t)$  соответствующих выражений, производя разделение

переменных и интегрируя в интервале от 0 до  $t$ , имеем

$$\int_0^t \lambda(t) dt = \int_0^t \frac{dP(t)}{P(t)} = - \ln P(t).$$

Пределы интегрирования приняты из условия, что при  $t=0$  вероятность  $P(0)=1$ , а вероятность безотказной работы в момент времени  $t$  равна  $P(t)$ . Из последнего равенства имеем

$$P(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(t) dt \right\}.$$

Это соотношение является одним из основных уравнений в теории надежности. Если  $\lambda(t) = \text{const}$ , то  $P(t)$  подчиняется экспоненциальному закону распределения времени безотказной работы АиСЧ, т. е.  $P(t) = e^{-\lambda t}$ . В этом случае  $t_{cp} = 1/\lambda$ .

Характеристики надежности при внезапном появлении отказа имеют вид, приведенный на рис. 12.3, а. При появлении случайных постепенных отказов для описания надежности применяют несколько законов распределения, среди которых в случае изменения случайных величин под действием многих примерно равнозначных факторов наиболее универсальным и широко используемым является нормальный закон. Характеристики надежности при постепенных отказах имеют вид, представленный на рис. 12.3, б.

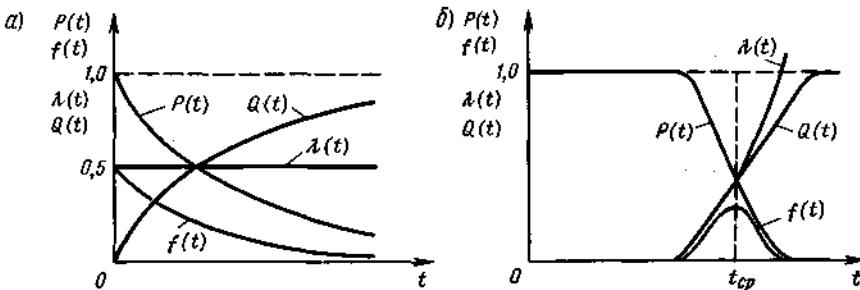


Рис. 12.3. Характеристики надежности при внезапном (а) и постепенном (б) отказах

Для нормального закона плотность распределения

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[ -\frac{(t - \bar{t})^2}{2\sigma^2} \right],$$

где  $\bar{t}$  — математическое ожидание наработки;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение.

В практике используются и другие законы распределения: логарифмически-нормальный, Вейбулла, усеченно-нормальный и др.

#### 12.4. РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ

Одно из важнейших свойств надежности автомобилей является ремонтпригодность (см. раздел 12.3). Как следует из определения, это свойство охватывает достаточно широкий спектр требований к конструкции автомобиля, в том числе конструкция автомобиля должна отвечать требованиям технологичности технического обслуживания и ремонтной технологичности.

Под *ремонтной технологичностью* понимается такое конструктивное и технологическое формирование автомобиля, при котором учтена необходимость обеспечения минимальных затрат труда и средств на ремонт при обеспечении назначенного ресурса за срок его службы.

Управление ремонтпригодностью выпускаемых автомобилей, а также вновь проектируемых осуществляется на государственном уровне путем оценки их на соответствие нормативно-технической документации, выполнение требований которой обязательно для всех. Кроме того, используются и отраслевые методики оценки вновь проектируемых автомобилей на ремонтпригодность.

Ремонтпригодность автомобиля как его свойство оказывает существенное влияние наряду с другими свойствами на конкурентоспособность автомобиля, так как высокий уровень ремонтпригодности является одним из показателей его качества.

Оценивая значение этой проблемы, необходимо, создавая современные автомобили, уделять большее внимание отработке конструкции на ремонтпригодность, для чего необходим эффективный механизм управления этим свойством на стадии проектирования и подготовки производства. Учитывая, что ремонтпригодность — комплексное свойство, в данном учебнике рассматриваются лишь некоторые вопросы, связанные с совершенствованием конструкции с позиции выполнения требований ремонтной технологичности. Сложность совершенствования конструкции автомобиля в отношении ремонтной технологичности состоит прежде всего в том, что процесс разработки конструкции и необходимость обеспечивать ее работоспособное состояние методами ремонта разделено значительным временным периодом, иногда исчисляемым несколькими годами. Это обстоятельство обуславливает особенность механизма управления ремонтной технологичностью вновь создаваемых и модернизируемых конструкций автомобилей.

Такой механизм должен включать следующие действия:

1. Изучение ретроспективных аналогов с целью выявления удачных конструктивных и технологических решений, а также патентный поиск и на этой основе формирование требований и отбор вариантов конструктивно-технологических решений для перспективной модели.

2. Прогнозирование состояния составных частей автомобиля на период доремонтной нормативной наработки. Определение допустимых без ремонта отклонений геометрических и физико-механических параметров, установление дефектов, подлежащих устранению.

3. Разработка типовой технологии ремонта, позволяющей осуществить ремонт объекта при минимальных затратах.

4. Разработка ремонтной конструкции сборочной единицы и изделия.

При этом должны обеспечиваться потребительские и эксплуатационные свойства у отремонтированного изделия на заданном уровне.

5. Оценка отремонтированного изделия путем проверочных испытаний и сопоставления показателей качества ремонта, в том числе и ремонтной технологичности с нормативным уровнем.

6. В случае рассогласования результатов сравнения показателей качества — корректировка конструктивно-технологических решений и балансирование исходного состояния ремонтного фонда составных частей автомобиля, подлежащего ремонту, технологической возможности и экономической целесообразности устранения дефектов.

7. Повторная проверка результатов совершенствования ремонтной технологичности составных частей автомобиля.

8. Разработка ремонтной документации заводом-изготовителем в случае достижения требуемого уровня ремонтной технологичности.

Практика конструирования, изготовления и ремонта автомобилей сформировала общие требования ремонтной технологичности. Общей тенденцией является сокращение объемов ремонтных работ, затрат дополнительного труда, материалов и денежных средств на обеспечение работоспособности автомобиля в течение срока его службы. Все ремонтные работы содержат дополнительные затраты и поэтому чем они будут меньше, тем эффективнее создаваемая техника и совершеннее система ремонта.

Общие требования ремонтной технологичности можно сформулировать следующим образом. При отработке конструкции автомобиля и его составных частей необходимо обеспечить возможность контроля состояния основных систем, доступность к составным частям, легкоъемность и взаимозаменяемость при необходимости их замены, возможность при-

менения стандартного и унифицированного оборудования, приспособлений и инструментов.

Быстроизнашиваемые поверхности трения сложных деталей должны иметь легкоъемные втулки, гильзы, вставки и другие элементы. Все детали при реализации назначенного ресурса должны обладать достаточной прочностью и износостойкостью рабочих поверхностей и не требовать сложного ремонта с использованием тепловых технологических методов и дорогостоящего оборудования. Детали, подвергающиеся ремонту, должны обладать необходимым запасом металла, а толщина рабочей поверхности трения обеспечивать запас слоя с заданными характеристиками физико-механических свойств на весь срок ее службы. Составные части автомобиля, которые должны сниматься с него в процессе ремонта, должны иметь соответствующие устройства для захвата грузоподъемными средствами. Детали, которые подлежат ремонту, должны сохранять технологические и измерительные базы.

Здесь перечислены некоторые, самые общие требования, наряду с которыми формируются частные требования к каждому типу деталей, отдельным сопряжениям и сборочным единицам.

Наиболее сложной задачей в проблеме управления ремонтной технологичностью является прогнозирование состояния агрегатов, сборочных единиц и их составных частей, соединений и деталей на момент, когда возникает отказ и необходимость производить текущий или капитальный ремонт.

Научное прогнозирование состояния деталей основывается на использовании достижений фундаментальных наук в области теории, раскрывающей сущность воздействия на рабочую поверхность детали разрушительных процессов, и моделирования процесса накопления неисправностей (повреждений) у детали до предельного ее состояния.

Для того чтобы оценить состояние составной части автомобиля, необходимо создать нормативную базу, которая содержала бы данные, позволяющие устанавливать при плановых технических обслуживаниях (диагностировании) возможность дальнейшего использования того или иного элемента автомобиля без ремонтных воздействий или потребность в ремонте.

Установив состояние составных частей автомобиля, далее представляется возможным, используя опыт ремонта ретроспективных аналогов и критерии качества, экономической целесообразности ремонта, можно выявить возможное допустимое исходное состояние ремфонда ремонтно-пригодных деталей и приступить к разработке технологических процессов их ремонта.

При разработке технологических процессов ремонта сборочных единиц необходимо руководствоваться принципами комплексности и сбалансированности технологических процессов ремонта — это отличительная особенность разработки технологических процессов ремонта по сравнению с такой же деятельностью в области автомобилестроения. Эта особенность является основой технологической концепции обеспечения нормативного уровня качества ремонта (межремонтного ресурса). На этом уровне разрабатывается обобщенный по состоянию детали типовой технологический процесс ремонта с единым технологическим маршрутом на всю совокупность устраняемых дефектов. Разработка технологических процессов ремонта осуществляется для оптимальной стратегии ремонта автомобиля, агрегата.

После испытания отремонтированных деталей по оптимальной технологии ремонта и проверки на соответствие требованиям по качеству, стоимости, социальным аспектам ремонта корректируется или принимается разработанная технология для ее тиражирования.

В соответствии с принятой технологией ремонта разрабатывается ремонтная конструкторская документация на деталь, сопряжение, узел и агрегат. По существу разрабатывается конструкция агрегата ремонтной размерности, обеспечивающей ему свойства на уровне нового агрегата, кроме ресурса, который может быть не менее 0,8 от нового при минимальных затратах на ремонт и экономической эффективности, не меньшей, чем для нового изделия.

Если не удастся реализовать оптимальную технологию ремонта, то вносятся необходимые изменения в конструкцию базовой модели или технологию ее изготовления. Все это делается на этапе проектирования автомобиля и изготовления опытной партии.

Оценка ремонтнопригодности и качества отремонтированного автомобиля (агрегата) может осуществляться по результатам натурных испытаний, а также имитационного моделирования с помощью ЭВМ или комбинированно.

Результаты исследования подвергаются математической обработке.

Если оценочные показатели требуют статистических исследований, то обосновывается первоначально объем репрезентативной выборки и после этого случайным образом отбираются объекты для исследования.

Оценка ремонтнопригодности (ремонтной технологичности) производится, как правило, сравнительным методом с помощью системы показателей. Показатели ремонтнопригодности бывают единичные и комплексные. В качестве единичных показателей, которые оценивают одно свойство, используется, например, продолжительность, трудоемкость, стоимость, вероятность в заданное время выполнения определенного вида ремонта. Учитывая, что продолжительность, трудоемкость и стоимость ремонта являются случайными величинами из-за существенной неоднородности объемов ремонтных воздей-

вий, в качестве показателя выступает средняя величина, т. е.

$$T_{\text{пр}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_{\text{пр}i}; \quad i T_{\text{тр}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_{\text{тр}i};$$

$$C_{\text{кр}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m C_{\text{кр}i}; \quad C_{\text{кр}i} = C_{\text{т}i} + C_{\text{зч}i} + C_{\text{м}i},$$

где  $T_{\text{пр}}$ ,  $T_{\text{тр}}$ ,  $C_{\text{кр}}$  — соответственно средняя продолжительность, средняя трудоемкость и средняя стоимость капитального ремонта изделий;  $m$  — число наблюдений изделий данного вида;  $C_{\text{т}i}$  — стоимость трудозатрат на проведение капитального ремонта  $i$ -го изделия;  $C_{\text{зч}i}$  — стоимость запасных частей, используемых при выполнении капитального ремонта  $i$ -го изделия;  $C_{\text{м}i}$  — стоимость материалов при проведении капитального ремонта  $i$ -го изделия, руб.

Комплексные показатели оценивают сразу несколько свойств. В качестве комплексного показателя часто используется коэффициент готовности или оперативной готовности

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_B},$$

где  $T_0$  — наработка на отказ;  $T_B$  — среднее время восстановления.

Из этой формулы видно, что коэффициент готовности характеризует одновременно два различных свойства изделия: безотказность и ремонтпригодность.

Анализируя вышеприведенные показатели ремонтпригодности, обнаруживается их зависимость не только от особенностей конструкции, но и от множества других факторов, в том числе от совершенства ремонтной базы, квалификации исполнителей, стратегии ремонта, так как все это оказывает влияние, в частности, на продолжительность, трудоемкость и себестоимость ремонта изделия. Учитывая это обстоятельство, был предложен комплексный показатель, который непосредственно оценивает ремонтную технологичность изделия и органически

связан с характеристикой качества ремонта.

Структура показателя ремонтпригодности (ремонтной технологичности) базируется на принципах интегрального показателя качества, причем добавляется специфическая для ремонта характеристика в виде коэффициента повторного использования массы металла. Поэтому комплексный показатель ремонтпригодности (ремонтной технологичности) представляет собой количественное выражение. Показатель ремонтпригодности должен расти при увеличении повторно используемой массы металла, при росте межремонтного ресурса и уменьшаться при росте затрат на ремонт. В связи с этим можно выражать этот показатель через полезный эффект от ремонта при представлении его в натуральных единицах, т. е.

$$P = K_{\text{пр}} L_p / S, \quad (12.5)$$

где  $K_{\text{пр}}$  — коэффициент повторного использования массы металла при ремонте;  $L_p$  — наработка изделия после ремонта;  $S$  — затраты на изготовление и ремонт изделия.

Коэффициент повторного использования массы металла рассчитывается следующим образом. Предположим, что ремонтируемое изделие состоит из некоторого числа деталей (случай, когда деталей только одна, не исключается). При капитальном ремонте  $i$ -го изделия в соответствии с реализуемой стратегией ремонта каждая из этих деталей заменяется или ремонтируется, либо повторно используется без ремонта. Обозначим для некоторого  $i$ -го изделия стратегию ремонта:  $m_{\text{р}i}$  — масса металла ремонтируемых деталей;  $m_{\text{т}i}$  — масса металла деталей, повторно используемых без ремонта;  $m_i$  — масса металла изделия.

Коэффициентом повторного использования массы металла ремонтируемого изделия в соответствии с реализуемой стратегией будем называть

$$K_{\text{пр}i} = \frac{m_{\text{т}i} + m_{\text{р}i}}{m_i}. \quad (12.6)$$

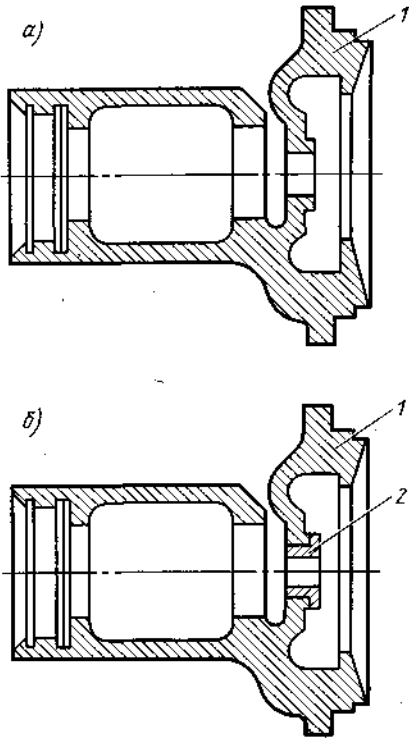


Рис. 12.4. Корпус водяного насоса двигателя базовой (а) и ремонтной (б) конструкции: 1 — корпус; 2 — опорная ремонтная втулка

Реализацию той или иной стратегии ремонта для  $i$ -го изделия будем рассматривать как случайное событие. В соответствии с (12.6) совокупности случайных событий соответствует случайная величина  $K_{\text{пн}}$  с реализациями  $K_{\text{пн}i}$ . Математическое ожидание этой случайной величины  $K_{\text{пн}} = M[K_{\text{пн}}]$  является характеристикой ремонтируемого изделия, отражающей его конструктивные и технологические возможности, и принимается в качестве коэффициента повторного использования массы металла изделия.

В формуле (12.5) параметр  $L_p$  не вызывает необходимости пояснения, а затраты  $S$ , видимо, требуют. Почему в качестве затрат принимается сумма затрат на изготовление и ремонт изделия, а не только затраты на ремонт? Ремонтная тех-

нологичность формируется на этапе проектирования изделия. Очень часто для создания изделия, обладающего высоким уровнем ремонтной технологичности, приходится усложнять конструкцию и, следовательно, увеличивать затраты на изготовление, ожидая при этом уменьшения затрат на последующие ремонты. В связи с этим нельзя рассматривать при оценке ремонтпригодности только затраты в сфере ремонта без учета затрат на изготовление.

Для оценки, связанной с установлением «лучше» или «хуже» одного изделия по отношению к другому даже одного наименования, целесообразно ввести относительный показатель ремонтпригодности

$$P = P/P_s, \quad (12.7)$$

где  $P_s$  — показатель ремонтпригодности эталонного (нового) изделия.

Представляя в формулу (12.7) вместо  $P$  и  $P_s$  соответствующие выражения, получим

$$P = \frac{K_{\text{пн}} L_p S_p}{K_{\text{пн}s} L_s S_p}. \quad (12.8)$$

Если в качестве эталонного изделия принимается новое изделие, то  $K_{\text{пн}s} = 1$ ;  $S_s = S_n$  и

$$P = K_{\text{пнр}} \frac{L_p}{L_n (1 + S_p/S_n)}. \quad (12.9)$$

Показатель ремонтпригодности изменяется в пределах  $0 < P < 1$ . Формулу (12.9) можно использовать для оценки ремонтпригодности как детали, так и агрегата (узла) при их капитальном ремонте.

После каждого этапа при реализации механизма управления ремонтпригодностью вносятся соответствующие коррективы в конструкцию и технологию с тем, чтобы обеспечить более высокий уровень этого свойства. По результатам количественной оценки ремонтпригодности различных моделей автомобилей и их составных частей создается банк данных, ориентируясь на который, можно установить прогрессивные

нормативы на значение параметров этого свойства для различных типовых деталей и агрегатов вновь проектируемых автомобилей. Эти нормативы должны систематически изменяться по мере накопления опыта конструирования ремонтнопригодных изделий и совершенствования организации и технологии ремонта авто-

мобилей. На рис. 12.4 показан пример отличия базовой конструкции корпуса водяного насоса системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания от корпуса водяного насоса после его ремонта или совершенствования его конструкции при проектировании нового двигателя с целью повышения его ремонтнопригодности.

## Глава 13

### СВЯЗЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ НАДЕЖНОСТИ

#### 13.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Технологические показатели качества (точность размеров, формы, взаимного расположения поверхностей и др.) отремонтированных изделий определяются параметрами технологических процессов их формирующими, между которыми имеются определенные взаимосвязи. Однако показатели надежности (ресурс, вероятность безотказной работы и др.) непосредственно связаны не с технологическими показателями, а с эксплуатационными свойствами изделия, его износостойкостью, усталостной прочностью и др.

Потеря работоспособности автомобиля является следствием влияния на него случайных внешних и внутренних воздействий (воздействие окружающей среды, внутренних источников энергии, связанных как с рабочими процессами в двигателе, так и с работой отдельных механизмов, перераспределение внутренних напряжений и др.). Кроме того, на изменение работоспособности большое влияние будут оказывать факторы, зависящие от качества проведения ремонтных воздействий.

Раскрытие зависимости между технологическими показателями качества изделия и его эксплуатационными свойствами осуществляется прежде всего анализом закономерностей, описывающих изменения в материале деталей и выходных параметров механизмов и сборочных единиц.

Рассмотрим влияние параметров поверхностного слоя на износостойкость и усталостную прочность. На эксплуатационные свойства детали оказывают влияние параметры шероховатости ( $Ra$ ,  $Rz$ , средний шаг  $S$  и максимальная высота неровностей), волнистости (высота волны  $\lambda$  и ее шаг  $L$ ); напряженное состояние поверхностного слоя (внутренние остаточные напряжения); строение поверхностного слоя (твердость, степень и глубина наклепа) и др.

Внутренние остаточные напряжения, как правило, являются следствием определенных технологических процессов (сварочных, нанесения покрытий, химико-термических, механической обработки), от которых в значительной степени зависят характер эпюры и остаточные напряжения. На рис. 13.1 приведены примеры типичных эпюр остаточных напряжений, возникающих в крупных объемах материала детали

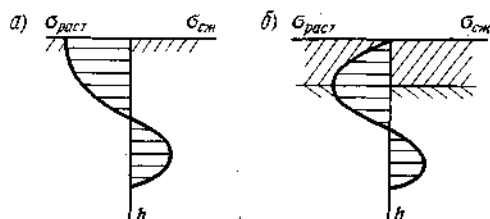


Рис. 13.1. Типичные эпюры остаточных напряжений первого рода в поверхностном слое однородного металла (а) и биметалла (б)

(напряжения первого рода), которые могут быть как сжимающими, так и растягивающими. Остаточные напряжения, суммируясь алгебраически с рабочими, могут усиливаться или ослабляться. Опасными являются растягивающие напряжения, которые во многих случаях приводят к понижению износостойкости и усталостной прочности.

Многие виды износа поверхностей зависят от твердости материала: чем больше твердость, тем меньше скорость изнашивания.

Отклонение формы и неровности поверхности оказывают существенное влияние на такие эксплуатационные свойства, как коэффициент трения, износ, усталостная прочность, надежность прессовых соединений и др. Однако зависимости между указанными параметрами и эксплуатационными свойствами являются сложными, исследованы далеко не полностью и в неодинаковой степени: одни из них обнаружены эмпирически, другие качественно физически объяснены.

Вследствие этого для нормирования параметров шероховатости, распространяя положения теории упругости на неровности поверхности, можно получить связь предела выносливости с неровностями поверхности через избыточный коэффициент концентрации напряжений

$$\alpha_R = k_\alpha \sqrt{H/\rho_{вп}},$$

где  $k_\alpha$  — коэффициент пропорциональности;  $H$  — глубина канавки;  $\rho_{вп}$  — радиус кривизны ее дна (впадины).

Сумма  $1 + \alpha_R$  показывает кратность превышения напряжения  $\sigma_{max}$  во впадине относительно напряжения  $\sigma$  в слое основного материала детали, т. е.  $\sigma_{max} = (1 + \alpha_R)\sigma$ . В местах, где при переменных нагружениях этот показатель достигает максимума, обычно начинают образовываться усталостные трещины.

Установлено, что между параметрами  $Ra$  и  $\alpha_R$  отсутствует тесная связь. Это свидетельствует о том,

что при обеспечении заданной выносливости целесообразно применять не параметр  $Ra$ , а физически обоснованный параметр  $\alpha_R$ .

При нормировании параметров шероховатости в условиях обеспечения усталостной прочности следует учитывать другие технологические показатели — остаточные напряжения  $\sigma_{ост}$  и степень наклепа  $h$ . Для этого случая зависимость предела выносливости от указанных технологических показателей описывается уравнением регрессии вида

$$\bar{\sigma}_{-1} = \bar{\sigma}_{-1} + A\alpha_R + Bh + C\sigma_{ост},$$

где  $\bar{\sigma}_{-1}$  — среднее значение предела выносливости;  $A$ ,  $B$  и  $C$  — показатели, зависящие от материала детали и технологии ее изготовления.

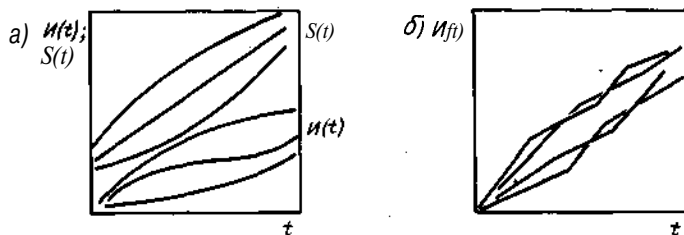
Из этого уравнения можно найти  $\alpha_R$ . После этого определяется соотношение глубины впадины к радиусу ее кривизны и осуществляется переход к нормированию параметров шероховатости. При обеспечении износостойкости нормирование параметров шероховатости осуществляется через физически обоснованный параметр, связанный с уравнением относительной опорной длины профиля неровности поверхности.

Эти и подобные им физически объяснимые явления в общем случае раскрывают взаимосвязи между технологическими показателями качества и эксплуатационными свойствами изделий.

При изучении влияния технологических показателей на наработку до предельного состояния элементов автомобиля используются различные методы. Наиболее распространенными являются методы физического моделирования, когда проводятся сравнительные испытания различных образцов моделей на машинах трения или натуральных образцов на специальных стендах. Как правило, при этих испытаниях изменяются только технологические показатели, а режим испытаний сохраняется постоянным. Поэтому изменение износа  $I$  детали или зазора  $S$  в за-



Рис. 13.2. Виды кривых износа деталей и зазоров в сопряжениях в зависимости от наработки



в зависимости от наработки  $t$  характеризуется гладкими возрастающими кривыми (рис. 13.2, а). Для нескольких одинаковых элементов, у которых начальные значения технологических показателей различны, получим совокупность кривых, отличающихся друг от друга скоростью изменения показателя. Окончательно результаты изучения проверяют наблюдениями в эксплуатации. В этом случае обычно подконтрольная совокупность испытуемых автомобилей содержит элементы с различными начальными значениями технологических показателей, а из-за непостоянства условий эксплуатации режим работы непрерывно изменяется. В результате такого воздействия изменение износа деталей будет происходить не по плавной возрастающей кривой, а по ломаной линии (рис. 13.2, б). Объясняется это тем, что случайное, благоприятное сочетание действующих факторов вызывает малую интенсивность износа и, наоборот, резкое увеличение скорости износа в отдельные моменты обусловлено случайной неблагоприятной комбинацией действующих внешних факторов. Изменение скорости изнашивания деталей при эксплуатации автомобилей является одной из основных причин, определяющих случайную природу долговечности деталей и узлов.

Исследование износа одноименных деталей в реальных условиях эксплуатации автомобилей показывает значительное его рассеивание при одинаковой наработке. Из-за различной скорости изнашивания одноименных деталей в реальных условиях также наблюдается рассеивание мо-

мента времени, при котором достигается определенное предельное значение параметра, что вызывает рассеивание доремонтного и межремонтного ресурса одноименных деталей и агрегатов.

Параметры, определяющие работоспособность, изменяются в результате действия разрушительных процессов (см. главу 11). Можно для каждого агрегата и его механизмов на основе кинематического анализа или анализа изменения служебных свойств установить предельное состояние и количественные показатели, при помощи которых можно оценить момент его наступления. На практике широко используют методы непосредственного измерения показателей или их косвенных оценок. В качестве косвенных оценок можно использовать суммарный зазор, который имеет тесную корреляционную связь с характеристиками качества работы механизма или агрегата. В некоторых случаях можно использовать отклонение геометрической формы одной или нескольких деталей. По отклонениям от первоначальных значений этих параметров можно оценить возможный запас работоспособности и момент наступления предельного состояния. Для совокупности одинаковых автомобилей изменение этих показателей от начала работы до предельного состояния будет изменяться случайным образом и поэтому можно их оценивать, используя основные положения теории случайных процессов.

На рис. 13.3 приведены реализации случайных функций, характеризующие изменение показателей до предельного состояния. На рис. 13.3, а

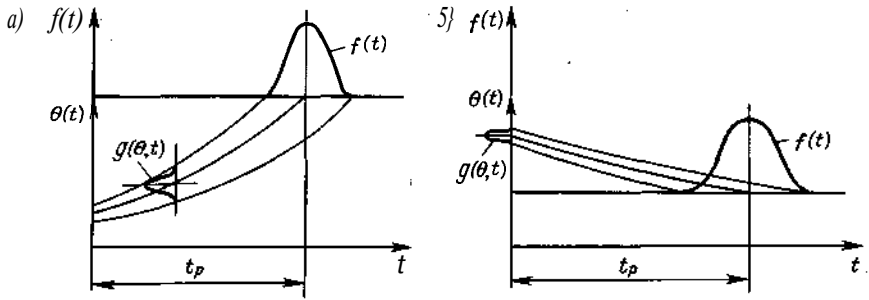


Рис. 13.3. Изменение показателей, определяющих качество автомобиля в зависимости от наработки:

$t_p$  — математическое ожидание наработки до предельного состояния;  $g(\theta, t)$  — плотность вероятности распределения

показано предельное состояние агрегата при увеличении показателя качества, а на рис. 13.3, б — при его уменьшении. Показателем качества  $\theta$  может быть производительность, мощность, КПД, минимальный масляный слой в подшипнике, давление, уровень вибрации, шума и косвенные характеристики (суммарный зазор и т. п.).

Характеристиками случайной функции являются неслучайная функция математического ожидания, неслучайная функция дисперсии и корреляционная функция. С целью упрощения перечисленные функции могут аппроксимироваться некоторыми близкими по значению функциями. В зависимости от характера изменения параметра функцию математического ожидания рекомендуется аппроксимировать линейной, нелинейной или дробно-линейной функцией. Изменение дисперсии аппроксимируют линейной, нелинейной или экспоненциальной функцией.

### 13.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ПОГРЕШНОСТИ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ И ДЕТАЛЕЙ

При устранении отказов автомобиля и его составных частей постоянно возникает задача, что делать с деталями, бывшими в эксплуатации. Чтобы принять обоснованное решение, необходимо для них установить

не только предельное значение параметров, соответствующих их предельному состоянию, но и допустимые их значения. Определение этих допустимых значений при ремонте объектов связано с выполнением точностных расчетов и проведением исследований по установлению зависимости между определяющими работоспособность параметрами и показателями надежности объекта.

При ремонте автомобилей точностные расчеты выполняют для того, чтобы выявить резервы точности у сборочных единиц, механизмов и отдельных деталей, выбрать наиболее целесообразный для данных производственных условий метод обеспечения точности сборки, установить более технологичную размерную схему детали, определить норматив межремонтной наработки. Эти исследования точности позволяют обосновать возможность повторного использования деталей без ремонтных воздействий, снизить за счет этого затраты на ремонт, не снижая заданного уровня качества. Численное значение запаса точности механизма или его детали к моменту ремонта агрегата (автомобиля) будем называть допустимым приращением соответствующей погрешности, первоначальный уровень которой для нового изделия был установлен заводом-изготовителем. Скорректированную за счет запаса точности погрешность, при которой механизм и его детали будут рабо-

тать надежно в течение нормативной межремонтной наработки, будем называть *допустимой погрешностью* механизма (детали) при ремонте.

Методы определения допустимой погрешности механизма при ремонте агрегатов основываются на раскрытии существующих связей между ресурсами агрегатов и погрешностями механизмов, а также на установлении функциональной зависимости между выходным параметром агрегата и погрешностью механизма, сопряжения и их отдельных деталей. Погрешности механизмов, сопряжений и деталей в процессе эксплуатации автомобилей формируются в результате накопления неисправностей и обычно их изменение во времени представляет собой случайную функцию

$$X_n(t) = X + h(t),$$

где  $X$  — начальное отклонение (погрешность) в установленных заводом-изготовителем пределах;  $h$  — значение повреждения (износ), накопленное к моменту времени  $t$  (функция  $h(t)$  случайная).

В общем случае изделие характеризуется не одним, а несколькими выходными параметрами  $y_1, y_2, \dots, y_n$  (ресурс, КПД, уровень шума и т. п.). Обычно функция  $y_i = f_i(h_j)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$  и  $j = 1, 2, \dots, k$  — число видов повреждений, влияющих на  $i$ -й выходной параметр) определяет детерминированную зависимость выходного параметра от повреждения, в том числе и от износа.

Зависимость выходных параметров объекта от накапливающихся повреждений во времени в составных его частях может быть представлена системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= f_1[h_{11}(t), h_{12}(t), \dots, h_{1k}(t)]; \\ y_n &= f_n[h_{n1}(t), h_{n2}(t), \dots, h_{nk}(t)] \end{aligned} \right\} (13.1)$$

При прогнозировании изменения выходных параметров автомобилей, агрегатов, когда изменение начальных выходных параметров  $y$  происходит вследствие износа отдельных сопряжений и если зависимость между выходным параметром и износом

сопряжения линейная, зависимость (13.1) принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= a_{11}h_{11}(t) + a_{12}h_{12}(t) + \dots + a_{1k}h_{1k}(t); \\ y_n &= a_{n1}h_{n1}(t) + a_{n2}h_{n2}(t) + \dots + a_{nk}h_{nk}(t). \end{aligned} \right\} (13.2)$$

где  $a_{ij}$  — коэффициенты, характеризующие степень влияния износа  $i$ -го сопряжения на выходной параметр.

В случае более сложных связей между износом сопряжения и выходным параметром зависимость имеет нелинейный характер. С помощью равенств (13.2) определяются выходные параметры в зависимости от износа агрегата. Далее по выходному параметру оценивается отдаленность объекта от предельного его состояния.

При определении допустимой погрешности механизма возможны два случая: норматив межремонтной наработки ремонтируемых механизмов и агрегатов неизвестен; норматив межремонтной наработки механизмов и агрегатов известен. В первом случае перед решением задачи необходимо установить оптимальную межремонтную наработку механизмов. Если задана межремонтная наработка агрегата и вероятность безотказной его работы  $P_k(t_p)$ , то допустимую ошибку механизма необходимо определить из условия, что  $\gamma$ -процентов механизмов будут иметь межремонтную наработку, равную или большую  $t_p$ . Для определения  $\gamma$  на основании оценки состояния агрегатов, поступающих в капитальный ремонт, составляются структурные схемы, позволяющие установить соотношения между значениями регламентированных вероятностей для гамма-процентных ресурсов агрегата и его элементов (механизмов).

Схема может состоять из элементов, расположенных последовательно или параллельно либо последовательно-параллельно. Если отказ элемента (механизма) или групп элементов вызывает необходимость капитального ремонта, то такие элементы в структурной схеме располагаются последовательно. Если же

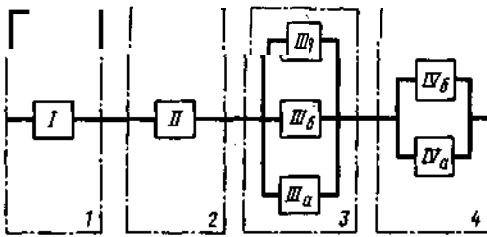


Рис. 13.4. Структурная схема для расчета вероятности безремонтной работы агрегата

потребность в капитальном ремонте изделия возникает только при одновременном отказе нескольких элементов, то последние объединяются между собой только параллельно, образуя одну подсистему, которая вводится в общую систему последовательно. В качестве примера на рис. 13.4 приведен вариант структурной схемы для оценки регламентированной вероятности безремонтной наработки условного агрегата автомобиля. Все элементы (механизмы) агрегата образуют четыре подсистемы 1...4. Отказ любой из подсистем вызывает необходимость проведения капитального ремонта агрегата. Первые две подсистемы в своем составе имеют по одному механизму, 3-я — три механизма, а 4-я — два механизма. Отказ любого одного механизма в 3-й и 4-й подсистемах устраняется текущим ремонтом. Для приведенной структурной схемы вероятность безремонтной работы

условного агрегата автомобиля после наработки  $t_p$

$$P_k(t_p) = P_1(t_p)P_2(t_p)P_3(t_p)P_4(t_p), \quad (13.3)$$

где  $P_1(t_p), \dots, P_4(t_p)$  — вероятность безотказной работы соответственно 1-й ... 4-й подсистем после наработки  $t_p$ .

Из этого равенства следует, что для 4-й подсистемы вероятность безремонтной ее работы обуславливается вероятностью безотказной работы двух механизмов  $IVa$  и  $IVb$  после наработки  $t_p$ . Эта вероятность

$$P_4(t_p) = 1 - 1 - 1 - P_{IVa}(t_p)[1 - P_{IVb}(t_p)]. \quad (13.4)$$

Для 3-й подсистемы вероятность безремонтной ее работы зависит от безотказной работы механизмов  $IIIa$ ,  $IIIb$  и  $IIIc$ , поэтому

$$P_3(t_p) = 1 - [1 - P_{IIIa}(t_p)][1 - P_{IIIb}(t_p)][1 - P_{IIIc}(t_p)]. \quad (13.5)$$

Зависимости (13.3)...(13.5) могут быть использованы не только для расчета вероятности безремонтной работы агрегатов, но и для автомобиля в целом. В этом случае подсистема структурной схемы формируется из отдельных агрегатов или других сборочных единиц. По результатам эксплуатационных наблюдений за автомобилями и их агрегатами, а также из анализа возможностей ремонтного завода устанавливают вероятность безремонтной работы для агрегатов и основных механизмов таким образом, чтобы обеспечивалось заданное значение регламентируемой вероятности безремонтной работы в момент времени  $t_p$  для автомобиля в целом. Эта вероятность, выраженная в процентах, численно равна  $\gamma$ -процентам механизмов, ресурс которых равен или больше  $t_p$ . Это значение используется в дальнейшем для определения остаточного ресурса у механизмов при капитальном ремонте автомобилей.

По результатам наблюдений за совокупностью одинаковых  $n$  механизмов строят реализации изменения погрешности механизмов. Совокупности реализаций образуют случайный процесс. На рис. 13.5 показана

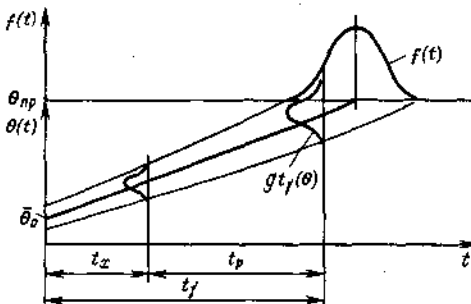


Рис. 13.5. К определению остаточного ресурса  $t_x$  и допустимого приращения погрешности механизма

ны границы единичных реализаций, изменение математического ожидания погрешностей механизмов в зависимости от их наработки, обозначено положение предельной погрешности,  $\theta_{np}$  механизмов, плотность  $g_{\gamma}(t)$  распределения вероятностей погрешности механизмов и плотность вероятностей распределения их ресурсов  $f(t)$ .

Как следует из рис. 13.6, остаточный ресурс механизма

$$t_x = t_{\gamma} - t_p,$$

где  $t_{\gamma}$  — гамма-процентный ресурс изучаемого механизма;  $t_p$  — нормативный межремонтный ресурс.

В этом равенстве неизвестным является гамма-процентный ресурс  $t_{\gamma}$ , который можно определить по вероятности безотказной работы механизмов в момент наработки  $t_p$  на основании ранее выполненного анализа структурной схемы агрегата. Используя вертикальное сечение случайного процесса (см. рис. 13.5), можно воспользоваться плотностью распределения вероятностей. Полагаем, что погрешности механизмов распределяются по нормальному закону, тогда вероятность того, что погрешность у  $\gamma$ -процентов механизмов будет меньше предельной,

$$P_{\gamma} (\Theta < \theta_{\gamma} = \theta_{np}) = \int_{-\infty}^{\theta_{\gamma}} g(\theta) d\theta = \Phi_0 \left( \frac{\theta_{\gamma} - M(\theta)}{\sigma_{\theta}} \right), \quad (13.6)$$

где  $\Phi_0(Z_{\gamma})$  — функция Лапласа ( $Z_{\gamma} = \frac{\theta_{\gamma} - M(\theta)}{\sigma_{\theta}}$ );  $\theta_{\gamma} = \theta_{np}$  — предельная погрешность, которой еще не достигли  $\gamma$ -процентов механизмов;  $M(\theta)$  — математическое ожидание погрешности механизма;  $\sigma_{\theta}$  — среднеквадратическое отклонение погрешности механизма;  $g(\theta)$  — плотность распределения показателя погрешности механизма.

В равенстве (13.6) левая его часть известна, в правой части также известны  $\theta_{\gamma} = \theta_{np}$ , функции математического ожидания и дисперсии случайного процесса. Если считать, что

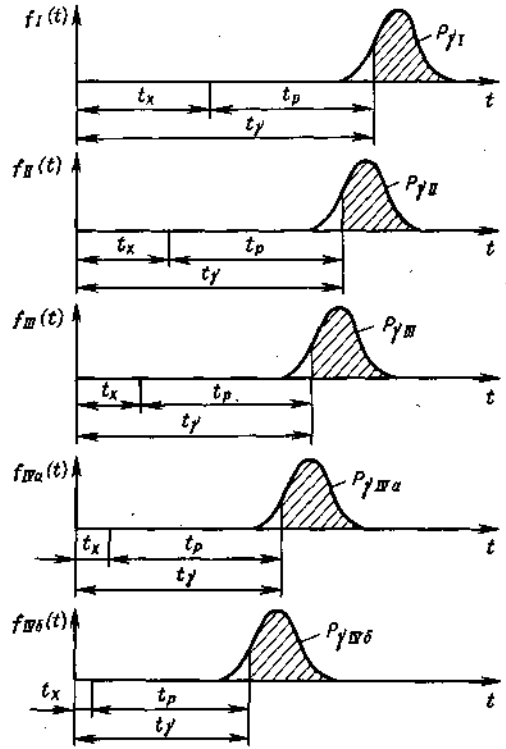


Рис. 13.6. Плотности распределения вероятностей ресурса механизмов агрегата (к схеме на рис. 13.4)

в данном случае функцией математического ожидания случайного процесса является линейная функция  $M(\theta)_t = M(\theta)_0 + vt$ , где  $M(\theta)_0$  — математическое ожидание погрешности механизма в момент времени  $t = 0$ ;  $v$  — параметр, функция дисперсии  $\sigma^2(\theta)_t = a_0 + a_1t + a_2t^2$ , где  $a_0, a_1, a_2$  — параметры, то, подставляя выражения  $M(\theta)_t$  и  $\sigma(\theta)_t$  в равенство (13.6) и переходя к квантилю, можно найти гамма-процентный ресурс из равенства

$$Z_{\gamma} = \frac{\theta_{np} - M(\theta)_0 - vt_{\gamma}}{\sqrt{a_0 + a_1t_{\gamma} + a_2t_{\gamma}^2}}, \quad (13.7)$$

где  $Z_{\gamma}$  — квантиль нормального распределения, т. е. число  $Z_{\gamma}$ , которое при подстановке в функцию  $\Phi_0(Z_{\gamma})$  определяет вероятность  $P_{\gamma}$ .

На рис. 13.6 приведены плотности вероятностей распределений ресур-

сов механизмов и обозначен их остаточный ресурс  $t_x$ . Используя функции математического ожидания и дисперсии, можно по известной величине остаточного ресурса для каждого механизма рассчитать допустимые приращения погрешностей механизма агрегатов. Приращение погрешности механизма по математическому ожиданию

$$M(\theta)_{\Delta h} = M(\theta)_x - M(\theta)_0.$$

Подставим вместо уменьшаемого его выражение и получим

$$M(\theta)_{\Delta h} = M(\theta)_0 + vt_x - M(\theta)_0 = vt_x. \quad (13.8)$$

Допустимые приращения погрешности механизма по дисперсии определяются из равенства  $\sigma^2(\theta)_{\Delta h} = \sigma^2(\theta)_x - \sigma^2(\theta)_0$  или с учетом равенства (13.7) и того, что  $\sigma^2(\theta)_0 = a_0$ , после подстановки окончательно будем иметь

$$\sigma^2(\theta)_{\Delta h} = a_1 t_x + a_2 t_x^2. \quad (13.9)$$

По формулам (13.8) и (13.9) рассчитываются параметры распределения допустимого приращения погрешностей механизма, по величине которых и определяются допустимые погрешности деталей и предельно допустимые ее размеры. Допустимые погрешности детали и предельные ее размеры должны быть в известном смысле оптимальными. При решении данной задачи используется экономический критерий минимума затрат на ремонт механизмов на ремонтном предприятии. При этом допустимое приращение погрешности детали в долях от допустимого приращения ошибки механизма должно быть пропорционально затратам на ремонт его детали. Для минимизации затрат на ремонт механизма используем метод дифференциального программирования или метод определения экстремума функции Лагранжа.

Исходными данными для определения допустимой погрешности детали являются допустимое приращение погрешности механизма по математическому ожиданию  $M(\theta)_{\Delta h}$ , допустимое приращение погрешности механизма по дисперсии  $\sigma^2(\theta)_{\Delta h}$  и стоим-

мость ремонта каждой  $i$ -й детали, входящей в состав ремонтируемого механизма,  $M_i(\delta_{h_i})$ .

Обозначим математическое ожидание допустимого приращения погрешности механизма  $m_{\Delta h}$  и примем, что значение накапливающихся повреждений всех поверхностей деталей механизма, которые входят в состав размерной цепи, не коррелированы между собой. Тогда

$$m_{\Delta h} = \prod_{i=1}^{n-1} \xi_i m_{h_i}, \quad (13.10)$$

где  $n$  — число звеньев, включая замыкающее;  $\xi_i$  — передаточное отношение;  $m_{h_i}$  — математическое ожидание допустимого приращения погрешности  $i$ -го звена размерной цепи.

Допустимое приращение погрешности механизма по дисперсии выразим через поле рассеяния  $\omega_{\Delta h} = \delta_{\Delta h}$ , т. е. допустимому приращению погрешности, используя соотношение  $\sigma^2(\theta)_{\Delta h} = K_{\Delta h} \delta_{\Delta h}^2 / 6$ , где  $K_{\Delta h}$  — коэффициент относительного рассеяния приращения погрешности механизма (замыкающего звена). Допустимое приращение погрешности механизма по дисперсии

$$\delta_{\Delta h}^2 = \frac{6}{K_{\Delta h}} \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i^2 K_i^2 \delta_{h_i}^2 \quad (13.11)$$

где  $\delta_{h_i}$  — допустимое приращение погрешности  $i$ -го звена размерной цепи.

В составе ремонтируемого механизма могут находиться неремонтопригодные детали, и поэтому они все заменяются на новые. Кроме того, для какой-то части деталей заранее известно допустимое приращение погрешности, в связи с этим они исключаются из расчетов, что сопровождается соответствующей корректировкой формул (13.10) и (13.11).

Вся совокупность повторно используемых деталей состоит из тех, которые используются без ремонта, —  $M_i(\delta_{h_i})$ , и тех, которые используются после ремонта, —  $M_{p_i}(\delta_{h_i})$ .

Очевидно, что общее число  $\Gamma$ -х деталей

$$N_i = M_i(\delta_{h_i}) + M_{p,i}(\delta_{h_i}).$$

Удельные средние затраты на ремонт детали в партии  $N_i$  (при условии, что затраты на неремонтируемые детали равны нулю)

$$S_{cp,i} = M_{p,i}(\delta_{h_i}) S_i / N_i, \quad (13.12)$$

где  $S_i$  — наибольшие допустимые затраты на ремонт  $i$ -й детали;  $M_{p,i}(\delta_{h_i}) / N_i$  — частота ремонта  $i$ -й детали.

Частота ремонта  $i$ -й детали является статистической оценкой вероятности, которая в зависимости от допустимой погрешности  $h_{gi}$  определяется из равенства

$$P\{h_i > h_{gi}\} = 1 - \int_0^{h_{gi}} f(h_i) dh_i, \quad (13.13)$$

где  $f(h_i)$  — плотность распределения вероятностей погрешностей  $\Gamma$ -й детали (рис. 13.7);  $h_i$  — погрешность (износ)  $i$ -й детали;  $h_{gi}$  — допустимая погрешность (износ)  $\Gamma$ -й детали.

Подставляя выражение вероятности ремонта детали из равенства (13.13) в формулу (13.12), найдем

$$S_{cp,i} = S_i \left[ 1 - \int_0^{\delta_{h_i}} f(h_i) dh_i \right]. \quad (13.14)$$

Очевидно, что чем больше допустимая погрешность, тем меньше необходимо ремонтировать деталей и тем меньше будет удельная стоимость их ремонта (рис. 13.8). В данном случае следует обратить внимание на то, что это справедливо только для деталей, бывших в эксплуатации, и когда решается вопрос об их использовании повторно без ремонта или после ремонта. Функция (13.14), вообще говоря, нелинейна, но в целях упрощения последующих расчетов ее можно аппроксимировать линейной функцией. С учетом этого

$$S_{cp,i} = b_i - a_i \delta_{h_i}, \quad (13.15)$$

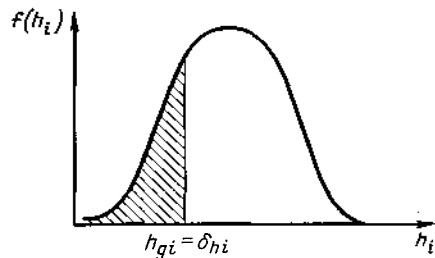


Рис. 13.7. Плотность распределения вероятностей приращения погрешностей  $i$ -й детали за межремонтную наработку

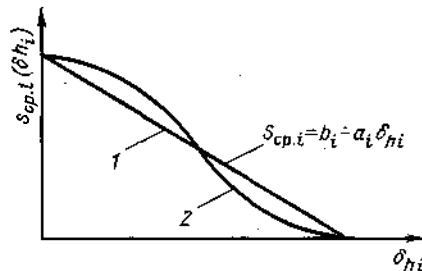


Рис. 13.8. Графики изменения стоимости  $S_{cp,i}(\delta_{h_i})$ :

1 — зависимость, построенная по данным аппроксимирующей функции; 2 — аналитическая зависимость

где  $a_i$ ,  $b_i$  — параметры функции;  $\delta_{h_i}$  — поле рассеяния допустимого приращения погрешности детали.

Допустимое приращение погрешности механизма распределяется между деталями таким образом, чтобы минимизировать затраты на его ремонт:

$$S_{\Delta} = S_1 + S_2 + \dots + S_{n-1},$$

где  $S_1, \dots, S_{n-1}$  — затраты на ремонт деталей.

Допустимое приращение погрешности механизма имеет стохастическую связь с соответствующими допустимыми приращениями погрешностей деталей, которая характеризуется равенством (13.11) и представляет собой побочные условия при решении данной задачи, т. е.

$$K_{\Delta h}^2 \delta_{\Delta h}^2 = \xi_1^2 K_{h_1}^2 \delta_{h_1}^2 + \dots + \xi_{n-1}^2 K_{h_{n-1}}^2 \delta_{h_{n-1}}^2.$$

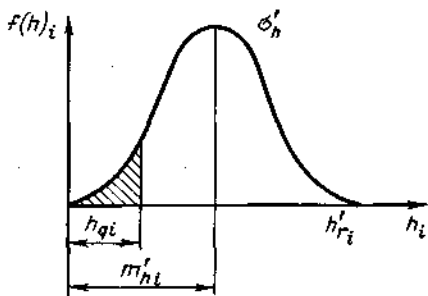


Рис. 13.9. Плотность распределения вероятностей приращения погрешностей  $h$   $i$ -й детали;  $h_{qi}$  — допустимое приращение погрешности детали;  $m'_{hi}$  — математическое ожидание приращения погрешности детали;  $\sigma'_h$  — среднеквадратическое отклонение погрешности детали;  $h'_i$  — наибольшее приращение погрешности деталей, поступающих в ремонт

Используя метод дифференциального программирования, по определенному правилу составляется вспомогательная функция, связывающая возможные допустимые погрешности (побочные условия) и затраты на ремонт деталей (целевая функция):

$$G = b_1 - a_1 \delta_{h_1} + \dots + b_{n-1} - a_{n-1} \delta_{h_{n-1}} + \lambda \left[ \xi_1^2 K_{h_1}^2 \delta_{h_1}^2 + \dots + \xi_{n-1}^2 K_{h_{n-1}}^2 \delta_{h_{n-1}}^2 - \delta_{h_\Delta}^2 K_{h_\Delta}^2 \right],$$

где  $\lambda$  — множитель Лагранжа.

Беря частные производные вспомогательной функции по  $\delta_{h_i}$  и приравнявая их нулю, получим систему уравнений, которые позволяют вместе с побочными условиями после

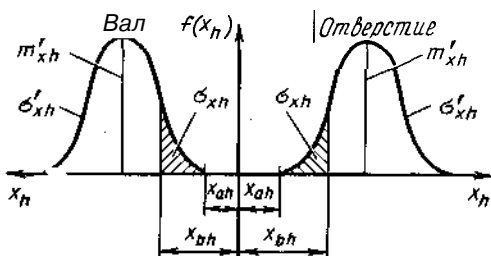


Рис. 13.10. К расчету предельно допустимых размеров деталей

128

элементарных преобразований установить следующие зависимости:

$$\delta_{h_i}^2 = \delta_{h_\Delta}^2 K_{h_\Delta}^2 C \frac{a_i^2}{\xi_i^4 K_{h_i}^2}; \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (13.16)$$

где  $n$  — число звеньев размерной цепи;

$$C = \left( \frac{a_1^2}{\xi_1^2 K_{h_1}^2} + \dots + \frac{a_{n-1}^2}{\xi_{n-1}^2 K_{h_{n-1}}^2} \right)^{-1}$$

Выражая в формуле (13.16) допустимые приращения через дисперсии, а также используя теоремы о дисперсиях и математических ожиданиях для суммы независимых случайных величин, после преобразований получим

$$\sigma_{h_i}^2 = \sigma_{h_\Delta}^2 C \frac{a_i^2}{\xi_i^4 K_{h_i}^2}; \quad i = 1, 2, \dots, n-1,$$

где  $\sigma_{h_i}^2$  — дисперсия допустимого приращения  $i$ -й погрешности;  $\sigma_{h_\Delta}^2$  — дисперсия допустимого приращения ошибки механизма.

В свою очередь

$$m_{h_i} = \xi m_{h_\Delta} \frac{\delta_{h_i} K_{h_i}}{\delta_{h_\Delta} K_{h_\Delta}}.$$

После определения приращения погрешности детали по дисперсии и математическому ожиданию, а также имея функцию плотности распределения вероятностей приращения погрешности деталей (рис. 13.9), можно определить предельные размеры деталей. Для этого определяем нормированные переменные  $t_0 = -\bar{h}' / \sigma'_h$  и  $t_g = (h_g - \bar{h}') / \sigma'_h$  и коэффициент изменения дисперсий  $K_{gh} = \sigma_{h_i}^2 / (\sigma'_h)^2$ , где  $h'$  и  $\sigma'_h$  — параметры распределения погрешностей деталей.

Параметры распределения отклонений размеров изношенных деталей (рис. 13.10) находят по формулам:

$$m_{x_{hi}} = m_{x_i} + m_{h_i}; \quad \sigma_{x_{hi}}^2 = \sigma_{x_i}^2 + \sigma_{h_i}^2,$$

где  $m_{x_{hi}}$  и  $\sigma_{x_{hi}}^2$  — параметры распределения отклонений размеров изношен-



ных деталей в пределах допустимых значений;  $m_{h_i}$  и  $\sigma_{h_i}$  — параметры распределения приращений в допустимых пределах;  $m_{x_i}$  и  $\sigma_{x_i}^2$  — параметры распределения отклонений размеров новых деталей.

С учетом этого определяем нормированную переменную

$$t_{a_i} = (X_{ah_i} - m'_{xh_i}) / \sigma'_{xh_i}$$

и коэффициент изменения дисперсии отклонений размеров изношенных деталей

$$K_{g_{xh_i}} = \sigma_{xh_i}^2 / (\sigma_{xh_i}')^2$$

По значению  $K_{g_{xh_i}}$  и  $t_{a_i}$  по таблицам справочников математической статистики определяем коэффициенты относительного среднеквадратического отклонения и относительной асимметрии  $\lambda_{xh_i}$  и  $\alpha_{xh_i}$ . Затем находим  $0,5\delta_{xh_i} = \sigma_{xh_i} / \lambda_{xh_i}$  и определяем координату середины поля допуска

$$\Delta_{0i} = \Delta_{xh_i} = m_{xh_i} - \alpha_{xh_i} \delta_{xh_i} / 2,$$

и предельные отклонения  $i$ -го звена: верхнее отклонение  $\Delta_{bi} = \Delta_{0i} + \delta_{xh_i} / 2$ ; нижнее отклонение  $\Delta_{ni} = \Delta_{0i} - \delta_{xh_i} / 2$ .

## Глава 14

### ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

#### 14.1. СУЩНОСТЬ ТЕОРИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Теория восстановления — наука, объектом изучения которой служит широкий спектр явлений и закономерностей, связанных с одновременно протекающими процессами старения, разрушения, «гибели» и в противоположность этому процессами рождения, воссоздания, «жизни» разнообразных технических систем. Эта наука обуславливает соответствующую отраслевую направленность в зависимости от непосредственного объекта и предмета исследования и включает в себя комплекс правил

Допустимое наибольшее отклонение для вала, соответствующее его нижнему отклонению,  $A_{\text{вал}} = |\Delta_{0i}| + \delta_{xh_i} / 2$ . Допустимый наименьший предельный размер (диаметр) вала

$$A_{\text{вал min}_i} = A_i - [m_{xh_i} + \delta_{xh_i}(1 - \alpha_{xh_i}) / 2]. \quad (13.17)$$

где  $A_i$  — номинальный размер (диаметр) вала;  $m_{xh_i} = M(xh_i)$  — координата, определяющая положение центра группирования относительно номинального размера;  $\delta_{xh_i} / 2$  — половина поля допуска для деталей, бывших в эксплуатации и годных для повторного использования без ремонта;  $\alpha_{xh_i}$  — коэффициент относительной асимметрии для области распределения допустимых отклонений. Допустимый наибольший предельный размер (диаметр) отверстия

$$A_{\text{от max}_i} = A_i + [m_{xh_i} + \delta_{xh_i}(1 - \alpha_{xh_i}) / 2]. \quad (13.18)$$

Формулы (13.17) и (13.18) можно использовать для расчета предельных размеров деталей механизма, когда их точностные характеристики определяются решением плоских размерных цепей.

и методов анализа и синтеза явлений и процессов, связанных с обеспечением функционирования системы, математические и имитационные модели изучаемых процессов.

Теория восстановления автомобилей — теория, содержательная часть и методы которой используются в целях совершенствования практики и повышения эффективности ремонта (восстановления свойств, восстановления работоспособности) массовых длительного использования сложных машин — автомобилей.

Процессы, которые мы объединяем термином старение системы (старение автомобиля, его агрегатов, составных частей), существуют объек-

тивно независимо от нашей воли, более того, вопреки ей. Система технического обслуживания в процессе эксплуатации лишь уменьшает скорость протекания этих процессов. С другой стороны, проведение восстановления означает существенное вмешательство в работу автомобиля, связанное с восстановлением его работоспособности. Решение о характере и сроках этого вмешательства (когда и какая восстановительная работа должна производиться и в каких условиях — на объекте эксплуатации, в ремонтной мастерской или на специализированном ремонтном предприятии) принимается в зависимости от того, в каком состоянии находится автомобиль.

Эффективное использование автомобилей при всем разнообразии их конструкций и условий эксплуатации зависит от выбора соответствующей стратегии ремонта (см. раздел 15.1). Главной задачей при выборе стратегии ремонта является восстановление работоспособности автомобиля до уровня, обеспечивающего его использование с заданными параметрами в течение очередного межремонтного цикла с наименьшими удельными затратами. При обосновании выбора оптимальной стратегии ремонта необходимо исходить из условия минимума времени нахождения автомобиля в неработоспособном состоянии при определенном ограничении уровня затрат на восстановление или из условия минимума затрат на проведение ремонтных мероприятий при ограничении времени пребывания автомобиля в неработоспособном состоянии.

Современная теория восстановления широко использует математический аппарат, в первую очередь аппарат теории вероятностей и математической статистики, в том числе ее специальные разделы — теорию массового обслуживания, теорию надежности, теорию планирования эксперимента и др. Применение этого аппарата позволяет использовать методы математического и имитаци-

онного моделирования, воссоздающие в некотором смысле свойства сложных объектов, работающих в определенных условиях, обеспечивающие изучение закономерностей с меньшим влиянием шумового поля на конечный результат и дающие возможность сократить сроки исследования.

Теория восстановления многогранна и ее отдельные положения используются практически при рассмотрении всех вопросов, охватываемых разделом учебника, посвященным ремонту автомобиля и его составных частей. Она позволяет устанавливать оптимальную систему ремонта, определять стратегию замены, обеспечивающую наилучшие результаты при минимальных затратах на ремонты за полный срок службы автомобиля, осуществлять связь эксплуатационных свойств автомобиля с технологическими, разрабатывать ремонтпригодные конструкции, выбирать оптимальные технологические решения при восстановлении свойств, разрабатывать оптимальные технологические процессы ремонта, обосновывать минимальный уровень расхода запасных частей и др. Теория восстановления — теоретическая основа всей практики ремонта автомобилей.

В плане введения в теорию восстановления в этой главе мы рассмотрим задачу о построении имитационной модели одновременно протекающих процессов старения и восстановления автомобиля (его агрегатов или составных частей) и решение на этой основе ряда проблем, связанных с системой ремонтов.

Имитационная модель любого типа описывает, вообще говоря, лишь отдельные, в каком-то смысле наиболее интересные стороны сложной системы. Степень совпадения свойств модели со свойствами реальных систем определяет уровень ее адекватности, а возможность использования свойств модели для изучения реальных систем — уровень ее полезности. Модель должна быть содержа-

тельной, а это значит, что она должна хорошо объяснять известные факты, выявлять новые, незамеченные явления и выдвигать перед исследователем новые проблемы. В рассматриваемом случае построения имитационная модель должна ответить на вопросы фундаментального характера: зачем нужен ремонт, какие могут быть типы ремонтов, в чем принципиальное отличие капитального ремонта и когда и сколько раз следует его производить, что такое ремонтоспригодность системы и каковы критерии оптимальной стратегии восстановления и др.

#### 14.2. ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ СТАРЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Попытаемся построить стохастическую имитационную модель одновременно протекающих процессов старения и восстановления системы. Под системой мы будем понимать машину в целом, например автомобиль, или отдельные ее составные части. Состояние системы как результат одновременно протекающих процессов ее старения и восстановления будем описывать (моделировать обобщенным показателем) случайной функцией времени  $P(t)$ , которую будем называть потенциалом работоспособности системы. Функция  $n(t)$  определяется на временном промежутке  $0 \leq t < \infty$ . При этом под временем  $t$  мы всюду будем понимать не календарное время, а наработку, выраженную в соответствующих единицах. При таком подходе ремонтным воздействиям соответствуют моменты, а не промежутки времени, так как простой независимо от его причины не сопровождается ростом наработки.

Пусть  $y$  — обобщенный параметр (это еще не потенциал работоспособности), изменение которого характеризует общий процесс старения системы в результате совокупного воздействия всех факторов, порождающих этот процесс. Производная

$dy/dt$  — скорость процесса старения. Поэтому дифференциальное уравнение

$$dy/dt = f(t, y; x_1(t), \dots, x_m(t)), \quad (14.1)$$

где  $t$  — время (наработка), а детерминированные функции  $x_1(t), \dots, x_m(t)$  описывают влияние изнашивания элементов системы, коррозии, усталости, структурных изменений и химических превращений в металлах и других процессов, определяющих общий процесс старения системы, естественно назвать дифференциальным уравнением старения.

Отметим, что как только мы решили моделировать состояние системы функцией не календарного непрерывно текущего времени, а функцией наработки, мы получили право рассматривать процесс старения системы как детерминированный процесс, связанный с определенными физическими закономерностями. Это право еще полнее в связи с тем, что мы изучаем поведение не конкретной системы (конкретного автомобиля), а средней системы из большого числа однотипных конкретных систем.

Будем считать в первом приближении, что правая часть уравнения (14.1) линейна по  $y$ , а совокупное воздействие всех процессов, порождающих старение системы, описывается одной функцией  $\varphi(t)$ , которую будем называть функцией затухания. Тогда уравнение старения (14.1) принимает вид

$$dy/dt + \varphi(t)y = 0, \quad 0 \leq t < \infty. \quad (14.2)$$

Относительно функции затухания  $\varphi(t)$  будем предполагать, что она непрерывна и удовлетворяет условиям:

$$\varphi(t) > 0, \quad 0 \leq t < \infty; \quad \int_0^{\infty} \varphi(t) dt = \infty. \quad (14.3)$$

Дифференциальное уравнение (14.2) определяет однопараметрическое семейство функций

$$y(t; c) = c \exp \left\{ - \int_0^t \varphi(u) du \right\}. \quad (14.4)$$

Обращаем внимание читателя на то, что задача описания процесса старения поставлена в весьма общей форме. Действительно, если некоторая величина  $y > 0$  характеризует состояние системы, а система стареет, то естественно считать, что в процессе старения величина  $y$  монотонно убывает и к концу абсолютного времени жизни стремится к нулю. Именно такими свойствами обладают все положительные решения (14.4) уравнения старения (14.2) независимо от выбора удовлетворяющей условиям (14.3) функции затухания  $\varphi(t)$ . Соответствующие положительным значениям параметра  $c$  функции семейства (14.4) обладают свойствами:

1)  $y(t; c) > 0$  на  $[0, \infty)$ ,  $y(0; c) = c > 0$ ;

2) функция  $y(t; c)$  монотонно убывает на  $[0, \infty)$ ;

3)  $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t; c) = 0$ ;

4) из  $c_2 > c_1 > 0$  следует  $y(t; c_2) > y(t; c_1) > 0$  для всех  $t \geq 0$ . Графики функций  $y(t; c)$ ,  $0 < 0 \leq t < \infty$  будем называть линиями старения.

Индивидуальные свойства функции затухания  $\varphi(t)$  определяют особенности течения процесса старения конкретных типов систем.

Принадлежащее семейству (14.4) решение уравнения (14.2)

$$F(t) = y(t; 1) = \exp \left\{ - \int_0^t \varphi(u) du \right\} \quad (14.5)$$

будем называть формирующей функцией потенциала работоспособности системы. В соответствии со свойством 3) функций семейства (14.4) для формирующей функции  $F(t)$  имеет место

$$\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 0. \quad (14.6)$$

Если рассматриваемая система не подвергается ремонтным воздействиям — процесс старения системы не сопровождается процессом ее восстановления, то потенциал работоспо-

собности системы естественно представить в виде

$$P(t) = P_0 F(t), \quad 0 \leq t < \infty,$$

где  $P_0$  — потенциал работоспособности новой системы.

Процесс восстановления работоспособности системы моделируется как случайный процесс — последовательность ремонтных воздействий. На временном промежутке  $(0, t)$  рассмотрим последовательность моментов времени — моментов ремонтных воздействий:

$$\{t_k\}_{k=1}^{N_t}: t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_{N_t} \quad (14.7)$$

Еще раз напомним, что роль времени у нас играет наработка, поэтому ремонтным воздействиям соответствуют изолированные моменты времени.

В (14.7)  $N_t$  — число ремонтных воздействий на временном промежутке  $(0, t)$  — случайная величина. Будем предполагать, что с помощью диагностических средств точно определяется состояние системы в момент  $t_k$ , когда возникает потребность в ремонтном воздействии, и после выполнения ремонтных работ устраняются все имеющиеся неисправности. Тогда вероятное состояние системы в будущем не будет зависеть от того, как реализовался процесс ее восстановления в прошлом, и, следовательно, процесс восстановления можно моделировать как марковский случайный процесс.

В соответствии со сказанным будем считать, что случайная величина  $N_t$  имеет пуассоновское распределение

$$P\{N_t = n\} = e^{-\lambda t} (\lambda t)^n / n!, \quad (14.8)$$

где  $\lambda$  — интенсивность потока ремонтных воздействий.

Заметим, что многочисленные исследования подтверждают пуассоновский характер распределения потока заявок на ремонт.

Последовательность (14.7) моментов ремонтных воздействий — последовательность независимых случай-

ных величин, равномерно распределенных на интервале  $(0, t)$  и, следовательно, их плотность распределения

$$q(u) = \begin{cases} 0, & -\infty < u \leq 0; \\ 1/t, & 0 < u \leq t; \\ 0, & t < u < +\infty. \end{cases}$$

Предполагается, что при каждой реализации рассматриваемого процесса случайные величины  $tk$  занумерованы таким образом, что их реализации образуют монотонно возрастающую последовательность.

Состояние системы моделируется случайной функцией  $\Pi(t)$ , названной потенциалом работоспособности системы. На каждом интервале  $(t_k, t_{k+1})$  — в промежутке между двумя последовательными ремонтными воздействиями, соответствующая реализация функции  $\Pi(t)$  совпадает с одной из функций  $y(t; c)$  однопараметрического семейства (14.4). Результат ремонтного воздействия в момент  $tk$  описывается как скачок потенциала

$$\Pi_k = \Pi(t_k) - \Pi(t_k - 0) = c_k F(t_k) - c_{k-1} F(t_k), \quad c_k > c_{k-1}, \quad (14.9)$$

влекущий за собой переход  $\Pi(t)$  с одной из линий старения на другую с большим значением параметра  $c$ . В (14.9)  $\Pi(t_k - 0)$  — предел слева функции  $\Pi(t)$  при  $t \rightarrow t_k$ . В соответствии с (14.9) каждая реализация случайной функции  $\Pi(t)$  непрерывна справа на  $[0, \infty)$  (рис. 14.1).

Соответствующая (14.7) последовательность  $\{\Pi_k\}$  скачков потенциала работоспособности системы в результате ремонтных воздействий — последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин, принимающих положительные значения, с плотностью вероятности  $h(u)$ . Математическое ожидание и дисперсия скачка потенциала определяются соответственно равенствами:

$$M[\Pi_k] = \int_0^{\infty} u h(u) du, \quad (14.10)$$

$$D[\Pi_k] = \int_0^{\infty} u^2 h(u) du - (M[\Pi_k])^2.$$

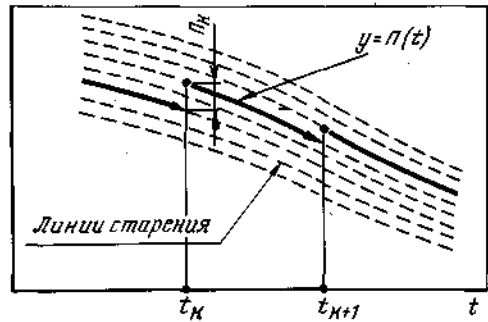


Рис. 14.1. Линии старения и реализация случайной функции

В соответствии со сказанным потенциалом работоспособности системы с формирующей функцией (14.5) назовем случайную функцию  $\Pi(t)$ , для реализации которой имеет место представление

$$\Pi(t) = \Pi_0 F(t) + \sum_{k=1}^{N_t} \Pi_k F_+(t, t_k), \quad 0 \leq t < \infty, \quad (14.11)$$

где  $\Pi_0$  — потенциал работоспособности новой системы;  $t_k$  — точки последовательности (14.7) — моменты ремонтных воздействий;  $\Pi_k$  — соответствующие скачки потенциала в результате ремонтных воздействий;  $N_t$  — число ремонтных воздействий на временном интервале  $(0, t)$ ;

$$F_+(t, t_k) = \begin{cases} 0, & 0 \leq t < t_k; \\ F(t) / F(t_k), & t_k \leq t < \infty \end{cases} \quad (14.12)$$

функция единичного скачка в момент  $t_k$ .

В соответствии с (14.11) каждая реализация случайной функции  $\Pi(t)$  обладает следующими свойствами:

1)  $\Pi(0) = \Pi_0$ , т. е. в начальный момент потенциал работоспособности равен потенциалу работоспособности новой системы;

2) первое слагаемое в (14.11) описывает детерминированный процесс «чистого старения», второе слагаемое отражает стохастический процесс восстановления работоспособности системы;

3) для любого момента  $t' \in (0, \infty)$  в силу (14.11) и (14.12)

$$P(t) = c_i F(t) + \sum_{k=N_i}^{N_i} P_k F_+(t, t_k),$$

$$t' \leq t < \infty, \quad (14.13)$$

где константа

$$c_i = P(t') / F(t') = \sum_{k=0}^{N_i} P_k / F(t_k), \quad t_0 = 0,$$

и, следовательно, для каждой реализации потенциал работоспособности системы  $P(t)$  при  $t > t'$  не зависит от предыстории, от значений потенциала работоспособности при  $t < t'$ ;

4) в силу (14.13) для любого  $t' \in (0, \infty)$

$$P(t) = c_i F(t), \quad t_{N_i} \leq t < t_{N_i+1},$$

т. е. для каждой реализации на участке между двумя последовательными ремонтными воздействиями функция  $P(t)$  совпадает с одной из функций семейства (14.4) (ее график совпадает с одной из линий старения), а при  $t = t_{N_i+1}$  в соответствии с (14.9)

$$P(t_{N_i+1}) = c_i F(t_{N_i+1}) + P_{N_i+1}.$$

Таким образом, любая реализация случайной функции  $P(t)$ , определяемая формулой (14.11), представляет собой кусочно монотонно убывающую непрерывную справа функцию (см., например, рис. 14.1).

Заметим, однако, что непосредственное изучение реализаций (14.11) случайной функции  $P(t)$  мало эффективно. С другой стороны, имея в виду, что нас интересует не индивидуальный, конкретный, а средний автомобиль (средняя система), представляющий большое число автомобилей (систем) рассматриваемого класса, естественно воспользоваться детерминированными характеристиками случайной функции  $P(t)$  — ее

математическим ожиданием и дисперсией. Можно показать, что для определенного формулой (14.11) потенциала работоспособности системы математическое ожидание

$$\bar{P}(t) = M[P(t)] = P_0 F(t) + \lambda \bar{P}_k \int_0^t \frac{F(t)}{F(u)} du, \quad (14.14)$$

а дисперсия

$$D[P(t)] = \lambda m_2 \int_0^t \left( \frac{F(t)}{F(u)} \right)^2 du. \quad (14.15)$$

Здесь в соответствии с (14.10):

$$\bar{P}_k = M[P_k] = \int_0^{\infty} u h(u) du,$$

$$m_2 = \int_0^{\infty} u^2 h(u) du = D[P_k] + \bar{P}_k,$$

где  $M[P_k]$ ,  $D[P_k]$  — соответственно математическое ожидание и дисперсия случайной величины  $P_k$  — скачков потенциала работоспособности системы в результате ремонтных воздействий;  $\lambda$  — интенсивность потока ремонтных воздействий (14.8).

Полученное детерминированное соотношение (14.14) будем рассматривать в качестве имитационной модели одновременно протекающих процессов старения и восстановления системы. В уравнении (14.14) функция  $F(t)$  отражает характер старения моделируемой системы, величина  $\lambda \bar{P}_k$  — интенсивность ремонтных воздействий на систему (произведение интенсивности потока ремонтных воздействий на среднюю величину  $P_k$  скачка потенциала работоспособности системы в результате одного ремонтного воздействия).

Построенная имитационная модель старения и восстановления системы позволяет построить полную классификацию систем по асимптотическим свойствам (при  $t \rightarrow \infty$ ) их потенциала работоспособности.

Из (14.14) и (14.6) следует, что предельное значение математического ожидания потенциала работоспособности системы определяется равенством

$$P_{\text{пред}} = \lim_{t \rightarrow \infty} \bar{\Pi}(t) = \lambda \bar{\Pi}_k \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t \frac{F(u)}{F(u)} du. \quad (14.16)$$

Обозначим

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t \frac{F(u)}{F(u)} Au.$$

В силу (14.6), используя правило раскрытия неопределенностей, получим

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} \left( -\frac{F(t)}{F'(t)} \right) = \lim_{t \rightarrow \infty} 1/\varphi(t). \quad (14.17)$$

откуда согласно (14.16)

$$P_{\text{пред}} = \lambda \bar{\Pi}_k A = \lambda \bar{\Pi}_k \lim_{t \rightarrow \infty} 1/\varphi(t). \quad (14.18)$$

Из (14.18) следует, что асимптотические свойства математического ожидания потенциала работоспособности системы целиком определяются характером ее старения — асимптотическими свойствами функции затухания  $\varphi(t)$  [см. формулы (14.2) и (14.3)]. При этом естественно ограничиться рассмотрением моделей, для которых при  $t \rightarrow \infty$  функция затухания имеет предел (конечный или бесконечный).

Отметим, что классификация систем по характеру их старения является естественной, ибо именно специфика старения отражает внутренние свойства системы, восстановление — результат внешнего воздействия на систему.

В соответствии с (14.18) построим следующую классификацию систем:

- 1) система называется быстро стареющей, если  $A = 0$ ;
- 2) система называется системой с управляемым потенциалом работоспособности, если  $0 < A < \infty$ ;

3) система называется системой с неограниченным потенциалом работоспособности, если  $A = \infty$ .

Сколько важны, однако, различия, связанные с поведением математического ожидания потенциала работоспособности системы при  $t \rightarrow \infty$ ? Ведь срок службы любой системы конечен. Да и потенциал работоспособности системы в процессе ее эксплуатации не может быть доведен до нуля.

Процесс восстановления, рассмотренный при формировании модели, — заявочный (текущий) ремонт. Обозначим Якрит — значение математического ожидания потенциала работоспособности системы, соответствующее ее состоянию, при котором режим текущего ремонта уже не может восстановить работоспособное состояние системы, требуется специальное, номенклатурное ремонтное воздействие — капитальный ремонт.

Для быстро стареющих систем ( $A = 0$ ) какова бы ни была заданная величина интенсивности ремонтных воздействий на систему  $\lambda \bar{\Pi}_k$ , в силу (14.18) можно указать момент (наработку)  $t_*$  такой, что будет иметь место неравенство  $\bar{\Pi}(t) < \bar{\Pi}_{\text{крит}}$  для  $t > t_*$ , тогда как для систем с управляемым потенциалом работоспособности ( $A = \text{const} > 0$ ) в силу (14.18) выбором режима текущего ремонта можно обеспечить выполнение неравенства  $\bar{\Pi}(t) > \bar{\Pi}_{\text{крит}}$  для любых значений  $t$  (рентабельность такого режима восстановления пока не обсуждается). Для систем с неограниченным потенциалом работоспособности само понятие  $\bar{\Pi}_{\text{крит}}$  теряет смысл, так как для систем этого класса  $\bar{\Pi}(t)$  в конечном счете неограниченно возрастает.

На модельных примерах продемонстрируем реализацию всех перечисленных классов систем. Выбор модельных примеров определяется быстротой затухания формирующей функции потенциала работоспособности системы: экспоненциальная, быстрее экспоненциальной и степенная (медленнее экспоненциальной).

Первый модельный пример:

$$\varphi(t) = \alpha > 0; \quad (14.19)$$

$$F(t) = e^{-\alpha t}, \quad (14.20)$$

где размерность параметра  $\alpha \sim |\alpha| = [t]^{-1}$ . В силу (14.19)  $\lim_{t \rightarrow \infty} \varphi(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \alpha = \alpha$  и согласно (14.17)

$A = 1/\alpha$  — система с управляемым потенциалом работоспособности.

Второй модельный пример:

$$\varphi(t) = \frac{n-1}{t+k} + \alpha n (t+k)^{n-1}, \quad \alpha > 0, n > 1, \quad (14.21)$$

$$F(t) = k^{n-1} (t+k)^{1-n} e^{-\alpha[(t+k)^n - k^n]} \quad (14.22)$$

Здесь  $k$  — единичный размерный множитель, обеспечивающий безразмерность функции  $F(t)$ ;  $[k] = [t]$ ,  $[\alpha] = [t]^{-n}$ . В силу (14.21)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varphi(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \left[ \frac{n-1}{t+k} + \alpha n (t+k)^{n-1} \right] = \infty$$

и согласно (14.17)  $A = 0$  — быстро стареющая система.

Третий модельный пример:

$$\varphi(t) = \frac{\alpha}{1 + \alpha t}, \quad \alpha > 0,$$

$$F(t) = \frac{1}{1 + \alpha t},$$

где размерность  $[\alpha] = [t]^{-1}$ . При этом

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \varphi(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\alpha}{1 + \alpha t} = 0$$

и в силу (14.17)  $A = \infty$  — система с неограниченным потенциалом работоспособности.

Поскольку прообразами рассматриваемых нами систем являются механические системы: автомобиль, его агрегаты и составные части, в дальнейшем мы будем заниматься лишь системами первых двух классов. Прообразы систем с неограниченным потенциалом работоспособности должны обладать специальными свойствами, предположение о существовании которых для механических систем неестественно.

В силу (14.15) можно показать, что потенциал работоспособности для первых двух классов систем имеет ограниченную дисперсию  $D[\Pi(t)]$  на всей полуоси  $[0, \infty)$ . А для быстро стареющих систем (класс 1)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} D[\Pi(t)] = 0.$$

### 14.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОРЕМОНТНОГО ЦИКЛА

В этом разделе мы воспользуемся построенной моделью старения и восстановления системы для решения некоторых задач теории восстановления.

Первый вопрос, который мы поставим: зачем нужен ремонт? Может быть можно вообще обойтись без ремонтных воздействий на систему?

Поставленный вопрос не столь абсурден, как кажется на первый взгляд. Если на систему не оказывается ремонтных воздействий, то в силу (14.14) и (14.11)

$$\bar{P}(t) = P(t) = P_0 F(t), \quad 0 \leq t < \infty. \quad (14.23)$$

Пусть по-прежнему  $P_{\text{крит}}$  — предельно допустимый уровень математического ожидания потенциала работоспособности системы, а  $t_{\text{полн}}$  — запланированная конструктором полная наработка системы. Тогда, несмотря на то, что функция  $P(t)$  в (14.23) монотонно убывает и в силу (14.6) стремится к нулю при  $t \rightarrow \infty$ , не исключена ситуация, когда в (14.23)

$$\bar{P}(t_{\text{полн}}) = P(t_{\text{полн}}) \geq P_{\text{крит}}. \quad (14.24)$$

На языке построенной модели неравенство (14.24) — условие отсутствия потребности системы во всяком ремонте.

В силу (14.23) всякая система при отсутствии ремонтных воздействий является стареющей. Неравенство (14.24) говорит о том, что система отработала запланированный конструктором ресурс, не успев



«состариться». В силу (14.5) неравенство (14.24) эквивалентно неравенству

$$\int_0^{t_{\text{полн}}} \varphi(u) du \leq \ln P_0 / P_{\text{крит}}$$

и, следовательно, выполнение условия (14.24) связано с соответствующим чрезвычайно замедленным характером старения системы.

Насколько реальна система, удовлетворяющая условию (14.24)? Если речь идет об автомобиле, то это должен быть баснословно дорогой автомобиль. Предмет нашего изучения — массовый автомобиль — не может реализовать запланированную конструктором полную наработку без ремонтных воздействий, для него при отсутствии ремонтных воздействий всегда

$$\bar{P}(t_{\text{полн}}) - P(t_{\text{полн}}) < P_{\text{крит}} \quad (14.25)$$

(в неравенстве (14.25) следовало бы поставить знак  $\ll$  — много меньше).

Работоспособность автомобилей при эксплуатации желательно восстановить преимущественно текущими (заявочными) ремонтами. В тех случаях, когда за период назначенного ресурса, запланированного конструктором, не представляется возможным экономически целесообразными текущими ремонтами предотвратить снижение работоспособности автомобиля до уровня предельного ее состояния, производят капитальный ремонт. Капитальный ремонт осуществляется для полного или близкого к полному восстановлению ресурса автомобиля с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые.

Как это будет звучать на языке построенной модели, в терминах потенциала работоспособности системы?

Пусть процесс восстановления работоспособности системы имеет случайный характер, описанный в предыдущем разделе, — режим заявочного ремонта. Спрашивается: доста-

точно ли такого типа восстановления для поддержания потенциала работоспособности системы на должном уровне в течение полного времени ее эксплуатации, запланированного конструктором, или для этого требуются периодические номенклатурные ремонтные воздействия — капитальные ремонты, восстанавливающие потенциал работоспособности системы до определенного уровня для обеспечения ее дальнейшей эксплуатации в режиме заявочного ремонта?

На языке построенной модели необходимость в капитальном ремонте означает, что существует момент  $t_{\text{кр}} < t_{\text{полн}}$  такой, что

$$\bar{P}(t_{\text{кр}}) = P_{\text{крит}}. \quad (14.26)$$

В зависимости от выбора модели размерность потенциала работоспособности системы может быть какой угодно. Но, по-видимому, наиболее естественно считать потенциал работоспособности системы безразмерной величиной. Тогда значение  $P_0$  будет определять масштаб. Например, если  $P_0$  равно 100 или 1000, то  $P(t)$  дает значение потенциала работоспособности системы в момент  $t$  соответственно в процентах или промилле к начальному потенциалу работоспособности системы. При таком построении модели и  $P_{\text{крит}}$  теряет свое абсолютное значение, определяющей будет величина

$$\gamma = P_{\text{крит}} / P_0, \quad (14.27)$$

которую будем называть коэффициентом использования потенциала работоспособности системы. Эту величину естественно считать постоянной для любого цикла между капитальными ремонтами системы.

В соответствии с (14.27) введем также коэффициент

$$\nu = \bar{P}_k / P_0 \quad (14.28)$$

— среднее относительное значение скачков потенциала работоспособности системы в результате ремонтных воздействий в режиме текущего ремонта.

В силу (14.14) с учетом (14.27) и (14.28) уравнение (14.26) для определения наработки  $t_{кр}$  средней системы до капитального ремонта примет вид

$$F(t) + \lambda v \int_0^t \frac{F(u)}{F(u)} du = \gamma. \quad (14.29)$$

Для того чтобы воспользоваться уравнением (14.29) для определения  $t_{кр}$ , следует рассмотреть конкретные модели.

Первый модельный пример (14.19) и (14.20).

Для этой модели определяющая функция задается равенством

$$F(t) = e^{-at}, \quad 0 \leq t < \infty. \quad (14.30)$$

Здесь

$$\int_0^t \frac{F(u)}{F(u)} du = \frac{1}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}). \quad (14.31)$$

и уравнение (14.29) принимает вид

$$e^{-at} + \frac{\lambda v}{a} (1 - e^{-at}) = \gamma. \quad (14.32)$$

Левую часть уравнения (14.32) обозначим  $\Phi(t)$ . Тогда:

$$\Phi(0) = 1 > \gamma, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \Phi(t) = \frac{\lambda v}{\alpha}, \quad (14.33)$$

$$\Phi'(t) = -\alpha \left(1 - \frac{\lambda v}{\alpha}\right) e^{-at}. \quad (14.34)$$

Как показано в предыдущем разделе, рассматриваемая система является системой с управляемым потенциалом работоспособности. Управляющим параметром является величина

$$\lambda v = \lambda \bar{P}_k / P_0, \quad (14.35)$$

приведенная к начальному потенциалу работоспособности интенсивность ремонтных воздействий на систему. При условии

$$\lambda v \geq \alpha \gamma, \quad (14.36)$$

в силу (14.33) и (14.34)

$$\Phi(t) = e^{-at} + \frac{\lambda v}{\alpha} (1 - e^{-at}) > \gamma, \quad 0 \leq t < \infty;$$

т. е. при соответствующей (14.36) интенсивности ремонтных воздействий в режиме текущего ремонта система не нуждается в капитальном ремонте ни при каком сколь угодно большом  $t_{полн}$ .

Пусть теперь

$$\lambda v < \alpha \gamma. \quad (14.37)$$

Из (14.33) и (14.34) следует тогда, что уравнение (14.32) имеет, и притом единственный, корень на положительной полуоси

$$x = \frac{1}{a} \ln \frac{a - Xv}{\alpha \gamma - Xv}.$$

Таким образом, при соответствующей (14.37) интенсивности ремонтных воздействий в режиме текущего ремонта условием необходимости капитального ремонта системы является неравенство

$$\frac{1}{\alpha} \ln \frac{a - Xv}{\alpha \gamma - Xv} < t_{полн}. \quad (14.38)$$

При выполнении (14.38) прогнозная формула для наработки системы до капитального ремонта для рассматриваемой модели имеет вид

$$t_{кр} = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{a - Xv}{\alpha \gamma - Xv}. \quad (14.39)$$

Результаты счета по формуле (14.39) представлены в форме 14.1.

Как и следовало ожидать, чем эффективнее ремонтные воздействия на систему в режиме текущего ремонта, тем больше наработка  $t_{кр}$  до первого капитального ремонта. При  $\lambda v = 0,0034$  в рассматриваемом примере система вообще не нуждается в капитальном ремонте, заплани-

Форма 14.1. Нарботка до первого капитального ремонта

а	γ	λv	к	t <sub>полн</sub>	t <sub>кр</sub>
0,005	0,7	0,0029	250,6	540	250,6
0,005	0,7	0,0031	311,6	540	311,6
0,005	0,7	0,0034	554,5	540	—
(Т·км) <sup>-1</sup>	—	(Т·км) <sup>-1</sup>	Т·км	Т·км	Т·км

рованная конструктором полная наработка достигается в режиме текущего (заявочного) ремонта.

Второй модельный пример (14.21) и (14.22).

В соответствии с (14.22) здесь

$$F(t) = k^{n-1} (t+k)^{n-1} e^{-\alpha[(t+k)^n - k^n]}, \quad 0 \leq t < \infty. \quad (14.40)$$

При этом

$$\int_0^t \frac{F(u)}{F(u)} du = \frac{(t+k)^{1-n}}{\alpha n} (1 - e^{-\alpha[(t+k)^n - k^n]}) \quad (14.41)$$

и, например, для  $n=2$  уравнение (14.29) принимает вид

$$t+k = \frac{1}{\gamma} \left[ \frac{\lambda \nu}{2\alpha} - \left( \frac{\lambda \nu}{2\alpha} - k \right) e^{-\alpha[(t+k)^2 - k^2]} \right] \quad (14.42)$$

Напомним, что здесь  $k$  единичный размерный множитель:  $[k]=[t]$ .

Обозначим  $\Phi_*(t)$  правую часть уравнения (14.42). Тогда

$$\Phi_*(0) = \frac{k}{\gamma} > (t+k) \Big|_{t=0} = k,$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Phi_*(t) = \frac{\lambda \nu}{2\alpha \gamma} < \lim_{t \rightarrow \infty} (t+k) = \infty,$$

производная

$$\Phi_*'(t) = \frac{1}{\gamma} (X\nu - 2\alpha k)(t+k) e^{-\alpha[(t+k)^2 - k^2]}$$

не меняет знак на полуоси  $0 < t < \infty$ , откуда следует, что уравнение (14.42) при допустимых значениях параметров имеет, и притом единственный, корень  $t=x$  на положительной полуоси. Если при этом  $x < t_{\text{полн}}$ , то  $t_{\text{кр}} = x$ .

Уравнение (14.42) не разрешимо в замкнутой форме, однако при заданных значениях параметров оно легко решается методом итераций. Результаты счета представлены в форме 14.2.

Сопоставление результатов счета, приведенных в формах 14.1 и 14.2, показывает, что сильно стареющая

Форма 14.2. Нарботка до первого капитального ремонта

$k$	$a$	$T$	$\lambda \nu$	$x$	$t_{\text{полн}}$	$t_{\text{кр}}$
	0,00025	0,7	0,15	427,6	540	427,6
	0,00025	0,7	0,20	570,4	540	—
$T \cdot \text{км}$	$(T \cdot \text{км})^{-2}$	—	$(T \cdot \text{км})^{-1}$	$T \cdot \text{км}$	$T \cdot \text{км}$	$T \cdot \text{км}$

система для поддержания работоспособности на допустимом уровне в режиме текущего ремонта требует несравненно большего объема ремонтных воздействий (примерно в 48 раз). С другой стороны, при достаточной интенсивности ремонтных воздействий в процессе эксплуатации полная ее наработка, запланированная конструктором, может быть обеспечена в режиме текущего ремонта. Это можно показать и в общем случае. Весь вопрос, однако, в том: рентабельно ли это? Ответ на этот вопрос дает экономический анализ процесса восстановления.

Помимо исследовательского прогноза, представляет интерес и так называемый нормативный прогноз, когда задается нормативная наработка  $t_{\text{кр}}$  и требуется указать условия ее обеспечения.

В соответствии с (14.8) (поток заявок имеет пуассоновское распределение) среднее число ремонтных воздействий на систему до капитального ремонта определяется равенством

$$N = M[N_{t_{\text{кр}}}] = \lambda t_{\text{кр}}. \quad (14.43)$$

С другой стороны, из уравнения (14.29) при  $t = t_{\text{кр}}$

$$\lambda \nu = \frac{\gamma - F(t_{\text{кр}})}{t_{\text{кр}}} \quad (14.44)$$

$$\int_0^{t_{\text{кр}}} \frac{F(u)}{F(u)} du$$

Из (14.43) и (14.44) получим

$$\nu N = \frac{t_{\text{кр}} [\gamma - F(t_{\text{кр}})]}{\int_0^{t_{\text{кр}}} \frac{F(u)}{F(u)} du} \quad (14.45)$$

В соответствии с (14.28) величина  $vN$  — произведение отнесенного к начальному потенциалу среднего скачка потенциала работоспособности при одном ремонтном воздействии на систему на среднее число ремонтных воздействий в режиме текущего ремонта, дает информацию об объеме текущего ремонта, обеспечивающего заданную наработку  $t_{кр}$ . Эту величину будем называть приведенным объемом текущего ремонта за период до первого капитального ремонта.

Для первого модельного примера (14.19) и (14.20) при условии

$$\alpha t_{кр} > -\ln \gamma$$

в силу (14.30) и (14.31)

$$vN = \alpha t_{кр} \frac{\gamma - e^{-\alpha t_{кр}}}{1 - e^{-\alpha t_{кр}}} \quad (14.46)$$

Для второго модельного примера (14.21) и (14.22) в силу (14.40), (14.41) и (14.45) для  $n = 2$  получим

$$vN = \frac{2\alpha t_{кр} \left[ \gamma(t_{кр} + k) - k e^{-\alpha[(t_{кр} + k)^2 - k^2]} \right]}{1 - e^{-\alpha[(t_{кр} + k)^2 - k^2]}} \quad (14.47)$$

#### 14.4. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖРЕМОНТНЫХ ЦИКЛОВ. ЧИСЛО КАПИТАЛЬНЫХ РЕМОНТОВ

В предыдущем разделе рассмотрены задачи теории восстановления, связанные с доремонтным циклом (до первого капитального ремонта). В этом разделе рассматриваются задачи, связанные с межремонтными циклами и с полным сроком службы автомобиля (системы).

Момент (наработка)  $t_{кр}$  — момент осуществления первого капитального ремонта, является рубежным моментом между двумя независимыми циклами (доремонтным и межремонтным), на которых в отличие от самого капитального ремонта процесс восстановления системы описывается как случайный процесс.

При  $t > t_{кр}$  начинается новая «жизнь» системы.

Капитальный ремонт — номенклатурное ремонтное воздействие, потенциал работоспособности каждого автомобиля (системы) в результате капитального ремонта должен быть доведен до заданного уровня. Поэтому для каждой реализации служебной функции  $P(t)$  после осуществления капитального ремонта получим

$$P(t_{кр}) = P(t_{кр} - 0) + \Delta P_{кр} = P_0^{(1)}, \quad (14.48)$$

где  $\Delta P_{кр}$  — скачок потенциала работоспособности системы в результате капитального ремонта.

Величину  $P_0^{(1)}$  будем называть начальным потенциалом работоспособности системы после капитального ремонта. Соотношение между  $P_0^{(1)}$  и начальным потенциалом работоспособности системы  $P_0$  определяется техническим характером системы и техническими требованиями к ее капитальному ремонту

$$P_0^{(1)} = \mu P_0, \quad (14.49)$$

где значения коэффициента  $\mu$  принимаются обычно от 0,8 до 1.

Для математического ожидания скачка потенциала работоспособности системы в силу (14.48) и (14.26) получим

$$\overline{\Delta P}_{кр} = M(\Delta P_{кр}) = P_0^{(1)} - P_{крит},$$

откуда в соответствии с (14.27), (14.28) и (14.49) приведенный к начальному потенциалу средний скачок потенциала работоспособности системы в результате капитального ремонта определяется равенством

$$v_{кр} = \overline{\Delta P}_{кр} / P_0 = \mu - \gamma. \quad (14.50)$$

Величина  $v_{кр}$  дает информацию об усредненном объеме капитального ремонта системы. Эту величину будем называть приведенным объемом капитального ремонта.

Как уже говорилось, после осуществления капитального ремонта система начинает новую «жизнь». Поэтому удобнее всего после мо-

мента  $t_{кр}$  начать новый отсчет времени (перенести начальную точку на оси  $t$  в точку  $t_{кр}$ ). Заметим также, что поскольку мы изучаем состояние среднего автомобиля (системы), то проблемы различия между обезличенным и индивидуальным капитальным ремонтом для нас не существует.

Приступим к формированию потенциала работоспособности системы на межремонтном цикле, начинающемся по новому отсчету времени (наработки) с момента  $t=0$ . При этом в соответствии с (14.49)

$$P(0) = P_0^{(1)}. \quad (14.51)$$

Пусть аналогично (14.2) основное уравнение старения системы на межремонтном цикле имеет вид

$$dy/dt + \varphi_1(t)y = 0, \quad 0 \leq t < +\infty, \quad (14.52)$$

где  $\varphi_1(t)$  — новая функция затухания, непрерывная на  $[0, \infty]$  и удовлетворяющая условиям вида (14.3).

Уравнению (14.52) соответствует семейство линий старения

$$y(t; c) = c \exp \left\{ - \int_0^t \varphi_1(u) du \right\}, \quad c > 0,$$

которому принадлежит формирующая функция потенциала работоспособности системы на межремонтном цикле

$$F_1(t) = y(t; 1) = \exp \left\{ - \int_0^t \varphi_1(u) du \right\}.$$

Что касается функций  $\varphi_1(t)$ ,  $F(t)$ , то для добротной системы они должны мало отличаться соответственно от  $\varphi(t)$  и  $F(t)$ . Естественно предположить, что это функции того же вида, но, может быть, с другими значениями определяющих параметров. Например:

первый модельный пример (14.19), (14.20) —

$$\varphi_1(t) = \alpha_1 \geq \alpha > 0; \quad (14.53)$$

$$F_1(t) = e^{-\alpha_1 t}; \quad (14.54)$$

второй модельный пример (14.21), (14.22) —

$$\varphi_1(t) = \frac{n-1}{t+k} + \alpha_1 n (t+k)^{n-1}; \\ \alpha_1 \geq \alpha > 0; \quad n > 1; \quad (14.55)$$

$$F_1(t) = k^{n-1} (t+k)^{1-n} e^{-\alpha_1 [(t+k)^n - k^n]} \quad (14.56)$$

Условие  $\alpha_1 > \alpha$  в (14.53), (14.54) или (14.55), (14.56) свидетельствует о том, что формирующая функция  $F_1(t)$  убывает на межремонтном цикле быстрее, чем соответствующая функция  $F(t)$  на доремонтном цикле, что, вообще говоря, соответствует свойствам реальных систем.

Случайный процесс восстановления системы — режим текущего (заявочного) ремонта, на межремонтном цикле формируется совершенно аналогично тому, как это сделано для доремонтного цикла. При этом, однако, следует предположить, что для величины  $N_t$  — числа ремонтных воздействий на систему на временном интервале  $(0, t)$  —

$$P\{N_t = n\} = e^{-\lambda_1 t} \frac{(\lambda_1 t)^n}{n!}; \quad \lambda_1 \geq \lambda,$$

а средний скачок потенциала работоспособности системы в результате одного ремонтного воздействия

$$\bar{\Pi}_k^{(1)} = M\{\Pi_k^{(1)}\} = \int_0^{\infty} u dH_1(u).$$

Тогда потенциал работоспособности системы на межремонтном цикле определяется случайной функцией  $\Pi(t)$ , для реализаций которой имеет место представление

$$Y(0) = \Pi_0^{(1)} F_1(0) + \sum_{k=1}^{N_t} \Pi_k^{(1)} F_{1+}(t, t_k), \\ 0 \leq t < \infty,$$

где в соответствии с (14.51)  $\Pi_0^{(1)}$  — потенциал работоспособности капитально отремонтированной системы;

$$F_{1+}(t, t_k) = \begin{cases} 0, & 0 \leq t < t_k; \\ F_1(t)/F_1(t_k), & t_k \leq t < \infty \end{cases}$$

— функция единичного скачка потенциала работоспособности системы в момент  $t_k$ .

Отсюда математическое ожидание потенциала работоспособности системы на межремонтном цикле

$$\bar{P}(t) = M[P(t)] = P_0^{(1)} F_1(t) + \lambda_1 \bar{P}_k^{(1)} \int_0^t \frac{MO}{F_1(u)} du. \quad (14.57)$$

Детерминированное соотношение (14.57) будем рассматривать в качестве имитационной модели одновременно протекающих процессов старения и восстановления системы на межремонтном цикле.

Первый вопрос, на который нам следует ответить, потребует ли системе повторный капитальный ремонт?

На языке построенной модели необходимость в повторном капитальном ремонте означает, что существует момент

$$t_{\text{КР}}^{(1)} < t_{\text{полн}} - t_{\text{КР}} \quad (14.58)$$

такой, что математическое ожидание потенциала работоспособности системы

$$\bar{P}(t_{\text{КР}}^{(1)}) = P_{\text{крит}}. \quad (14.59)$$

Полагая, что  $v_1 = P_k^{(1)}/P_0$ , в силу (14.57) и (14.49) уравнение (14.59) для определения наработки  $t_{\text{КР}}^{(1)}$  средней системы до следующего капитального ремонта преобразуем к виду

$$\mu F_1(t) + \lambda_1 v_1 \int_0^t \frac{F_1(u)}{F_1(u)} du = v. \quad (14.60)$$

Уравнение (14.60) того же типа, что и (14.29). Поэтому решение задачи исследовательского прогноза наработки системы до повторного капитального ремонта аналогично решению задачи о наработке до первого капитального ремонта (см. п. 14.3).

Рассмотрим задачу о нормативном прогнозе. Нормативная наработка

системы до повторного капитального ремонта

$$t_{\text{КР}}^{(1)} = \eta t_{\text{КР}}, \quad (14.61)$$

где  $t_{\text{КР}}$  — наработка до первого капитального ремонта, а значения коэффициента  $\eta$  принимаются обычно от 0,8 до 1.

Аналогично (14.43) среднее число ремонтных воздействий на систему за межремонтный цикл определяется равенством

$$N_1 = M[N_{t_{\text{КР}}^{(1)}}] = \lambda_1 t_{\text{КР}}^{(1)},$$

откуда, аналогично (14.45), в силу (14.61) и (14.60) для приведенного объема текущего ремонта на межремонтном цикле получим

$$v_1 N_1 = \frac{\eta t_{\text{КР}} [\gamma - \mu F_1(\eta t_{\text{КР}})]}{\int_0^{\eta t_{\text{КР}}} \frac{F_1(u)}{F_1(u)} du}. \quad (14.62)$$

При этом для первого модельного примера (14.19), (14.20) в силу (14.31)

$$v_1 N_1 = \alpha \eta t_{\text{КР}} \frac{\gamma - \mu e^{-\alpha_1 \eta t_{\text{КР}}}}{1 - e^{-\alpha_1 \eta t_{\text{КР}}}}, \quad (14.63)$$

а для второго модельного примера (14.21), (14.22) согласно (14.41) при  $n=2$

$$v_1 N_1 = \frac{2\alpha_1 \eta t_{\text{КР}} [\gamma (\eta t_{\text{КР}} + k)]}{t - e^{-\alpha_1 [(\eta t_{\text{КР}} + k)^2 - k^2]} - \frac{\mu k e^{-\alpha_1 [(\eta t_{\text{КР}} + k)^2 - k^2]}}{t - e^{-\alpha_1 [(\eta t_{\text{КР}} + k)^2 - k^2]}}. \quad (14.64)$$

Рассмотрим процесс восстановления системы за полный запланированный конструктором срок службы  $t_{\text{полн}}$ . В качестве основного допущения примем, что все характеристики процесса восстановления системы для каждого последующего межремонтного цикла совпадают с соответствующими характеристиками для первого межремонтного цикла.

Исходным параметром будем считать  $t_{\text{полн}}$ , управляющим параметром для выбора оптимальной стратегии восстановления — число  $r$  капитальных ремонтов за срок службы системы (случай  $r=0$  не исключается). Тогда нормативная наработка системы до первого капитального ремонта в силу (14.61) определится из уравнения  $t_{\text{кр}} + r\eta t_{\text{кр}} = t_{\text{полн}}$ , откуда

$$t_{\text{кр}} = t_{\text{полн}} / (1 + r\eta). \quad (14.65)$$

Зная  $t_{\text{кр}}$ , в силу (14.45) и (14.62) определим приведенный к начальному потенциалу работоспособности системы объем ремонтных воздействий  $V_r(r)$  в режиме текущего ремонта за полный срок службы системы

$$V_r(r) = vN + rv_1N_1. \quad (14.66)$$

Приведенный объем ремонтных воздействий при выполнении капитальных ремонтов в силу (14.50)

$$V_k(r) = rv_{k1}. \quad (14.67)$$

Полные затраты на восстановление системы за срок службы при выбранном числе  $r$  капитальных ремонтов в соответствии с (14.66) и (14.67)

$$S_{\text{полн}}(r) = K_1 V_r(r) + K_2 V_k(r), \quad (14.68)$$

где  $K_1, K_2$  — коэффициенты пропорциональности (коэффициент  $K_2$  учитывает, в частности, потери от простоев системы, связанных с капитальным ремонтом).

Пусть  $S_{\text{доп}}$  — максимально допустимый уровень затрат на восстановление системы за срок службы. Систему будем называть ремонтпригодной, если для некоторой стратегии восстановления системы

$$S_{\text{полн}}(r) \leq S_{\text{доп}}. \quad (14.69)$$

Оптимальное число капитальных ремонтов за срок службы системы (оптимальная стратегия восстановления) определяется из условия

$$S_{\text{полн}}(r) \rightarrow \min \quad (14.70)$$

при ограничении (14.69). Оптимальная стратегия восстановления системы практически находится прямым перебором небольшого числа вариантов:  $r=0, 1, 2, \dots$

Рассмотрим пример определения оптимальной стратегии восстановления для быстро стареющей системы с формирующей функцией потенциала работоспособности (14.22), (14.56), где  $n=2$ .

Исходные данные:

$$t_{\text{полн}} = 540 \text{ т} \cdot \text{км}; k = 1 \text{ т} \cdot \text{км}; \alpha = 0,00025 \text{ (т} \cdot \text{км)}^{-2}; \alpha_1 = 0,000251 \text{ (т} \cdot \text{км)}^{-2}; \gamma = 0,7; \mu = \eta = 0,8; K_1 = 0,18 \text{ т} \cdot \text{руб}; K_2 = 35 \text{ т} \cdot \text{руб}; S_{\text{доп}} = 13,5 \text{ т} \cdot \text{руб}.$$

1. Система восстанавливается в режиме текущих ремонтов —  $r=0$ .

По формуле (14.65)  $t_{\text{кр}} = t_{\text{полн}} \approx 540 \text{ т} \cdot \text{км}$ . По формуле (14.47) приведенный объем текущего ремонта за срок службы  $vN = 102,25$ , откуда в силу (14.66)...(14.68) полные затраты на восстановление системы для рассматриваемого варианта стратегии восстановления

$$S_{\text{полн}}(0) = 0,18 \cdot 102,25 = 18,4 \text{ т} \cdot \text{руб} > S_{\text{доп}}.$$

2. Стратегия восстановления с одним капитальным ремонтом —  $r=1$ .

$$\text{По формуле (14.65) } t_{\text{кр}} = \frac{1}{1,8} \cdot 540 = 300 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

В силу (14.47) приведенный объем текущего ремонта за доремонтный цикл  $vN = 31,60$ , а за послеремонтный цикл согласно (14.64)  $v_1N_1 = 20,32$ . По формуле (14.50) приведенный объем капитального ремонта  $v_{k1} = 0,1$ . Таким образом, согласно (14.66)...(14.68) полные затраты на восстановление системы за срок службы

$$S_{\text{полн}}(1) = 0,18(31,60 + 20,32) + 35 \cdot 0,1 = 12,85 \text{ т} \cdot \text{руб} < S_{\text{доп}}.$$

В силу (14.69) система ремонтпригодна.

3. Стратегия восстановления с двумя капитальными ремонтами —  $r=2$ .

Аналогично

$$t_{\text{кр}} = \frac{1}{2,6} \cdot 540 = 207,7 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

В силу (14.47) приведенный объем текущего ремонта за доремонтный цикл  $vN = 15,17$ , а за один межремонтный цикл согласно (14.64)  $v_1N_1 = 9,76$ . Приведенный объем одного капитального ремонта по формуле (14.50)  $v_{k1} = 0,1$ . Таким образом, в силу (14.66)...(14.68) полные затраты за срок службы на восстановление системы

$$S_{\text{полн}}(2) = 0,18(15,17 + 2 \cdot 9,76) + 35 \cdot 2 \cdot 0,1 = 13,24 \text{ т} \cdot \text{руб} > S_{\text{полн}}(1)$$

и согласно (14.70) оптимальной для рассматриваемой системы является стратегия восстановления с одним капитальным ремонтом.

Для сравнения рассмотрим аналогичную задачу для системы с управляемым потенциалом работоспособности — формирующая функция потенциала работоспособности определяется формулами (14.20) и (14.54). Такая система стареет значительно медленнее, но сама она и разовое восстановление ее работоспособности обходятся дороже.

Исходные данные:

$t_{\text{полн}} = 540 \text{ т} \cdot \text{км}$ ;  $\alpha = 0,005 \text{ (т} \cdot \text{км)}^{-1}$ ;  $\alpha_1 = 0,0051 \text{ (т} \cdot \text{км)}^{-1}$ ;  $\gamma = 0,7$ ;  $\mu = \eta = 0,8$ ;  $K_1 = 6 \text{ т} \cdot \text{руб}$ ;  $K_2 = 36 \text{ т} \cdot \text{руб}$ ;  $S_{\text{доп}} = 12 \text{ т} \cdot \text{руб}$ .

1. Система восстанавливается в режиме текущего ремонта —  $r = 0$ .

По формуле (14.65)  $t_{\text{кр}} = t_{\text{полн}} = 540 \text{ т} \cdot \text{км}$ . По формуле (14.46) приведенный объем текущего ремонта за срок службы  $vN = 1,832$ , откуда в силу (14.66)...(14.68) полные затраты на восстановление системы  $S_{\text{полн}}(0) = 6 \cdot 1,832 = 11,99 \text{ т} \cdot \text{руб} < S_{\text{доп}}$ . В силу (14.69) система ремонтпригодна

Стратегия восстановления с одним капитальным ремонтом —  $r = 1$ .

Аналогично

$$t_{\text{кр}} = \frac{1}{\Gamma, \alpha} 540 = 300 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

В силу (14.46) приведенный объем текущего ремонта за доремонтный цикл  $vN = 0,921$ , а за послеремонтный цикл согласно (14.63)  $v_1 N_1 = 0,806$ . По формуле (14.50) приведенный объем капитального ремонта  $v_{\text{кр}} = 0,1$ . Таким образом, согласно (14.66)...(14.68)  $S_{\text{полн}}(1) = 6(0,921 + 0,806) + 36 \cdot 0,1 = 13,96 \text{ т} \cdot \text{руб} > S_{\text{полн}}(0)$ .

Аналогично можно показать, что  $S_{\text{полн}}(2) > S_{\text{полн}}(1)$ . Таким образом, в соответствии с (14.70) для рассматриваемой системы опти-

мальной стратегией восстановления является режим текущего ремонта. Видимо, это и есть модель массового автомобиля будущего.

Рассмотренные в двух последних разделах задачи теории восстановления в достаточной мере показали и полезность построенной имитационной модели одновременного протекания процессов старения и восстановления системы и ее качественную адекватность. Рамки учебника вынуждают нас оставить вне рассмотрения не только многие подробности построенной модели, но и очень важный вопрос о связи безразмерного потенциала работоспособности системы (автомобиля) и потенциалов работоспособности ее составных частей, которые в конечном счете должны выражаться в натуральных единицах. Исследование этой связи может решить задачу обоснования выбора формирующей функции потенциала работоспособности системы исходя из требования количественной адекватности модели.

## Глава 15

### СИСТЕМА РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ И ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА.

#### 15.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основной технической политики в области поддержания работоспособности подвижного состава автомобильного транспорта является плано-предупредительная система технического обслуживания и ремонта, которая представляет собой совокупность взаимодействующих средств, исполнителей, стратегии и технологии, обеспечивающих работоспособное состояние подвижного состава.

*Средства ремонта* включают производственно-техническую базу (здания, сооружения, оборудование), размещенную на автотранспортных и специализированных предприятиях по ремонту подвижного состава, а также материально-техническое обеспечение. *Производственная структура* средств ремонта — это со-

вокупность взаимосвязанных предприятий и производственных подразделений, совместно осуществляющих производственный процесс ремонта автомобилей. *Организационная структура* средств ремонта представляет собой систему взаимоотношения предприятий и производственных подразделений с закрепленными за ними функциями и способами оценки их выполнения, а также распределенными между ними правами, обеспечивающими возможность выполнения закрепленных функций.

*Исполнители* разделяются на основных и вспомогательных производственных рабочих, инженерно-технических работников, счетно-конторский и младший обслуживающий персонал.

*Стратегия ремонта* — это система правил, однозначно определяющих



выбор решения о месте, времени выполнения ремонтных работ и их содержании за весь период эксплуатации автомобиля до списания. Стратегия ремонта объединяет средства и исполнителей общей идеологией по достижению цели системы ремонта.

*Целью системы ремонта* автомобилей является управление их техническим состоянием в течение срока службы, позволяющее обеспечить заданный уровень готовности подвижного состава к использованию по назначению/его работоспособности исправность в целом в процессе эксплуатации, минимальные затраты времени, труда и средств на выполнение ремонтных работ.

*Технология ремонта* автомобилей — это совокупность методов изменения технического состояния автомобилей и их составных частей, осуществляемых в процессе ремонта.

## 15.2. СТРАТЕГИЯ РЕМОНТА

Модель управления техническим состоянием автомобилей и их составных частей в наиболее общем виде может быть представлена следующим образом. Пусть в дискретные моменты времени наблюдается векторный случайный процесс  $Z(t) = X(t) + Y(t)$  с известными статистическими характеристиками составляющих  $X(t)$  и  $Y(t)$ , где  $X(t)$  — вектор технического состояния автомобиля или его составной части, контролируемый идеальными техническими средствами;  $Y(t)$  — вектор ошибок измерений. Если  $R(t)$  — векторная неслучайная функция, имеющая ту же размерность, что и  $Z(t)$ , и являющаяся дискретно наблюдаемыми реализациями (траекториями) вектора  $Z(t)$ , то можно задать некоторый функционал  $\Phi\{R(t)\}$ , который является затратами на управление процессом  $Z(t)$  для удержания его в заданной области  $D(t)$ . Область  $D(t)$  может рассматриваться как допуски на все контролируемые параметры. Постановку задачи мож-

но сузить, полагая  $D(t)$  независимой от  $t$ .

Обозначив через  $\delta_{t_i}(Z_{t_i})$ , где  $i = 0, 1, 2, \dots$ , решение на управление процессом  $Z(t)$  в момент  $t_i$ , дадим определение стратегии ремонта на периоде  $(0, T)$  как набора решений

$$\delta_T(Z_T) = \{\delta_{t_1}(Z_{t_1}), \delta_{t_2}(Z_{t_2}), \dots, \delta_{t_k}(Z_{t_k} = Z_T)\}.$$

Задача состоит в выборе стратегии ремонта, минимизирующей математическое ожидание функционала затрат в периоде эксплуатации  $(0, T)$ , т. е. обеспечивающей  $\min [\Phi\{R(t)\}]$ .

Различают две основные разновидности стратегий ремонта:

*по наработке*, когда объем разборки изделия и дефектовки его составных частей назначается единым для парка однотипных изделий в зависимости от наработки с начала эксплуатации или после капитального (среднего) ремонта, а перечень операций восстановления определяется с учетом результатов дефектовки составных частей изделия;

*по техническому состоянию*, когда перечень операций, в том числе разборки, определяется по результатам диагностирования изделия перед ремонтом (предремонтного диагностирования), а также по данным о надежности этого изделия и однотипных изделий.

Опыт ремонта автомобилей показывает, что замена их элементов по наработке не обеспечивает высокой надежности и минимальных затрат на поддержание работоспособности подвижного состава из-за большой вариации наработок элементов до отказа. Замена по наработке в зависимости от назначенной периодичности замены может привести либо к значительному недоиспользованию ресурса элемента, либо к его внезапному отказу. Избежать этого позволяет стратегия ремонта по техническому состоянию.

Решение  $\delta_{t_i}(Z_{t_i})$ , принимаемое в момент  $t_i$ , определяет в первую очередь вид и место проведения ремонта. В

зависимости от назначения, характера и объема выполняемых работ различают текущий, средний и капитальный ремонты.

*Текущий ремонт* (ТР) предназначен для обеспечения работоспособного состояния подвижного состава с ремонтом или заменой отдельных его агрегатов, узлов и деталей (кроме базовых), достигших предельного состояния. ТР обеспечивает безотказную работу отремонтированных агрегатов, узлов и деталей на пробеге, не меньшем, чем до ближайшего ТО-2. Сокращение времени простоя автомобиля достигается применением агрегатного метода ремонта, при котором производится замена неисправных или требующих капитального ремонта агрегатов и узлов на исправные, взятые из оборотного фонда. Оборотный фонд составных частей автомобиля может создаваться как непосредственно на АТП, так и в обменных пунктах, при региональных центральных мастерских и ремонтных заводах.

*Средний ремонт* (СР) автомобилей предусматривается для случаев их эксплуатации в тяжелых дорожных условиях. Средний ремонт проводится с периодичностью более одного года и при этом могут выполняться следующие ремонтные работы: замена двигателя, достигшего предельного состояния и требующего капитального ремонта, устранение неисправностей других агрегатов с заменой или ремонтом деталей, окраска кузова и другие работы, которые бы обеспечили восстановление исправного состояния автомобиля.

*Капитальный ремонт* (КР) автомобилей, агрегатов и узлов предназначен для обеспечения назначенного ресурса автомобиля и его составных частей путем восстановления их исправности и близкого к полному (не менее 80 % доремонтного) восстановлению ресурса и обеспечения других нормируемых свойств. Автомобили и агрегаты подвергают, как правило, не более чем одному капитальному ремонту.

Централизованный капитальный ремонт полнокомплектных массовых автомобилей недостаточно эффективен в связи с тем, что из-за малых производственных программ и универсального характера производства увеличиваются транспортные затраты на доставку ремонтного фонда и отремонтированной продукции, автомобили на длительное время отвлекаются из сферы эксплуатации. В связи с этим КР полнокомплектных автомобилей должен осуществляться главным образом для автомобилей, работающих в особо тяжелых дорожных условиях при интенсивной эксплуатации. В этом случае КР и СР автомобилей должен быть максимально приближен к АТП и производиться на готовых агрегатах, узлах и деталях, поступающих в специализированную мастерскую в порядке кооперации с соответствующих ремонтных заводов.

Если базовый узел (рама, несущий кузов, базовая деталь агрегата) не нуждается в ремонте в течение назначенного срока службы автомобиля (агрегата) до списания, то КР производить не следует, а ресурс обеспечивается путем замены комплектов неисправных агрегатов и узлов на исправные за счет оборотного фонда.

### 15.3. СРЕДСТВА РЕМОНТА

Производственная структура средств ремонта включает следующие основные типы предприятий: технические службы автотранспортных предприятий и объединений;

централизованные специализированные производства (ЦСП); технические центры производственных объединений автомобильной промышленности, авторемонтные мастерские, базы централизованного технического обслуживания и ремонта, производственно-технические комбинаты и др.;

авторемонтные заводы (АРЗ).

Технические службы АТП заняты выполнением технических обслуживания и относительно несложных текущих ремонтов подвижного состава. Более сложные текущие ремонты, связанные со снятием и частичной разборкой агрегатов, следует выполнять на ЦСП. Капитальный ремонт автомобилей и их агрегатов выполняют на АРЗ.

Средства ремонта принадлежат в основном ведомствам, эксплуатирующим автомобили. В последнее время автозаводы (КамАЗ, ВАЗ, ЯМЗ, ЗИЛ и др.) развивают собственные сети предприятий по обслуживанию, ремонту и материально-техническому обеспечению выпускаемых ими автомобилей. Участие производителей в техническом обслуживании и ремонте подвижного состава способствует их целенаправленной работе над повышением ремонтоспригодности выпускаемой продукции и технологической преемственности автомобилестроения и авторемонтного производства.

#### **15.4. СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ И АГРЕГАТОВ**

Технологический процесс капитального ремонта полнокомплектного грузового автомобиля включает следующие работы (рис. 15.1). С принятого в ремонт автомобиля снимают аккумуляторные батареи, приборы систем питания, электрооборудования и направляют его на склад ремонтного фонда, откуда по мере необходимости автомобили подают в разборочно-моечный цех. Буксиром или с помощью тяговой цепи автомобиль устанавливают на конвейер, по которому он проходит пост наружной мойки, а затем предварительной разборки, где с него снимают платформу, колеса, кабину и топливные баки. Снятые части направляют для ремонта на соответствующие производственные участки.

Шасси автомобиля повторно моют и в специальные резервуары сли-

вают масло из картеров двигателя, коробки передач, ведущих мостов, механизмов управления. Затем шасси перемещают по конвейеру на посты полной разборки, где с него снимают механизмы управления, силовой агрегат, карданные валы, передний и задний мосты, части подвески и тормозной привод. Снятые механизмы и раму автомобиля моют и направляют для ремонта на соответствующие участки.

Агрегаты, снятые с автомобиля или поступающие в капитальный ремонт как товарная продукция, проходят наружную мойку и поступают на разборку. После разборки агрегатов наружные и внутренние поверхности деталей моют и очищают от нагара, накипи, старой краски, продуктов коррозии, коксовых и смолистых отложений. При дефектации детали разделяют на три группы: утильные (восстановление которых технически невозможно или экономически нецелесообразно), годные без ремонта (износ которых не достиг предельного значения, регламентированного техническими условиями) и требующие восстановления. Детали последней группы восстанавливают различными способами и после контроля передают в комплекточное отделение, где их подбирают в комплекты и передают на сборку агрегатов.

Двигатели обычно собирают на поточных линиях, другие агрегаты — на специализированных постах. Собранные агрегаты испытывают и после устранения обнаруженных дефектов окрашивают. Агрегаты, принятые ОТК, поступают на конвейер для сборки автомобилей или на склад готовой продукции, откуда выдаются заказчиком.

Автомобиль после общей сборки заправляют топливом и испытывают пробегом или на стенде с беговыми барабанами. Во время испытаний регулируют механизмы и устраняют обнаруженные неисправности. При необходимости автомобиль моют, подкрашивают, после чего сдают заказчику.

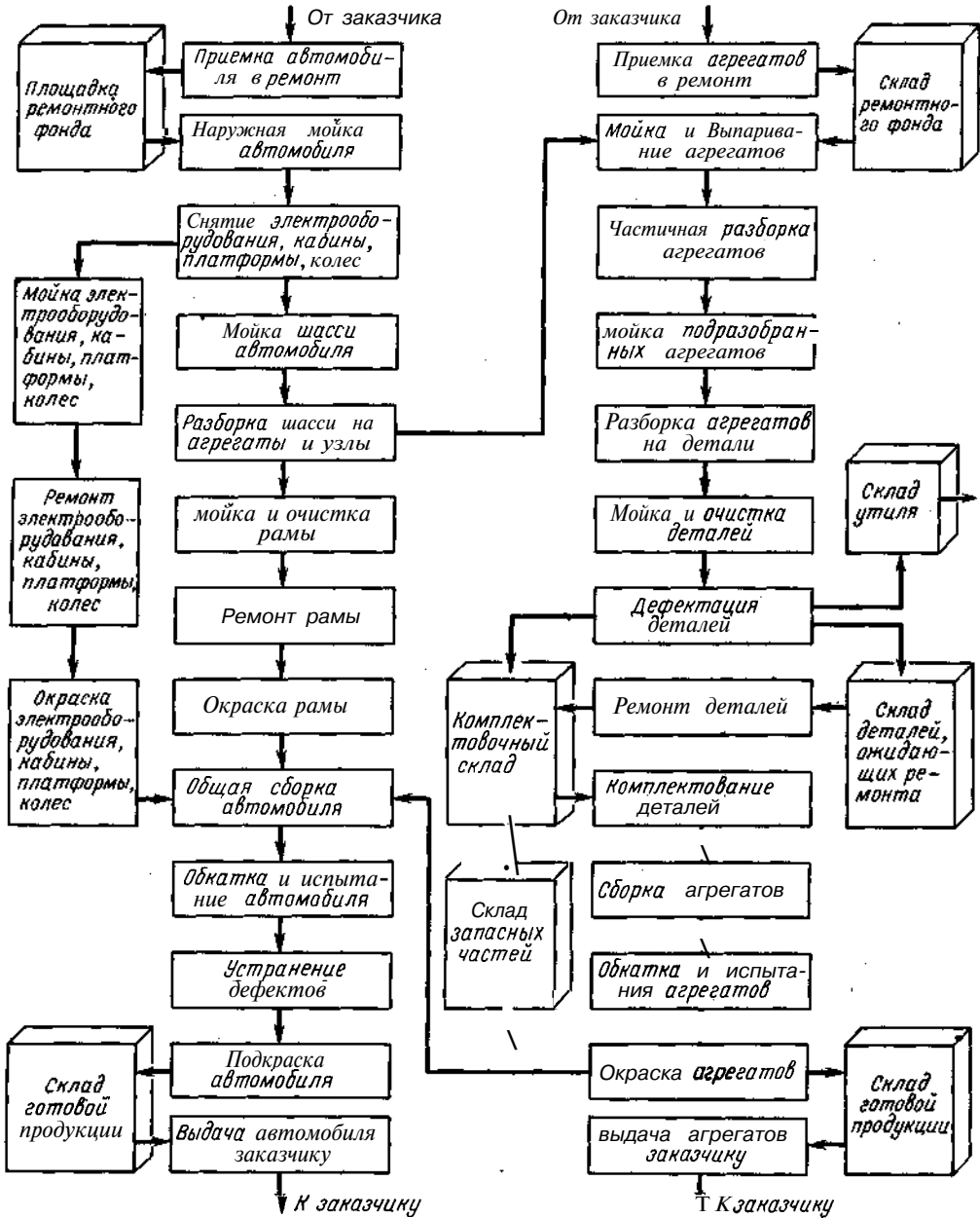


Рис. 15.1. Схема технологического процесса капитального ремонта грузового автомобиля и агрегатов

### **15.5. СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО РЕМОНТА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ**

При ремонте по техническому состоянию периодичность и объем контрольно-диагностических операций по ремонтируемому агрегату устанавливается по соответствующей нормативно-технической документации, а целесообразность направления агрегата в ремонт и объем необходимых ремонтных воздействий определяются состоянием изделия.

Ремонт по техническому состоянию может выполняться на АТП и ЦСП. В первом случае перечень технологических операций ремонта определяется для каждого отдельно взятого агрегата, т. е. ремонт выполняется в условиях единичного производства по единичным технологиям. Во втором случае подобная организация производства неоправдана, так как при механическом переносе принципов организации ремонта по техническому состоянию из АТП в ЦСП централизация позволяет несколько повысить загрузку технологического оборудования и исполнителей, однако практически не вносит в технологический процесс ремонта изменений, которые бы его качественно улучшили. ЦСП может быть организовано при головном предприятии автотранспортного объединения, при авторемонтном заводе либо как самостоятельное хозяйственное предприятие.

Централизованный ремонт по техническому состоянию (ЦРТС) основывается на принципах серийного производства и характеризуется широким использованием типовых технологических процессов. Его суть состоит в том, что каждому агрегату по результатам предремонтного диагностирования, которое может проводиться перед отправкой агрегата в ремонт (до снятия с автомобиля) либо при его приемке в ремонт (на испытательном стенде), назначается один из заранее разработанных технологических маршрутов типово-

го технологического процесса ремонта. Это сопровождается некоторым увеличением объемов разборочно-сборочных работ ввиду неполного соответствия, с одной стороны, фактических сочетаний дефектов агрегатов, направленных по соответствующему технологическому маршруту, а с другой — сочетания дефектов, устранение которых предусмотрено данным маршрутом. Однако оно будет компенсироваться сокращением объема контрольно-диагностических операций, так как в этом случае не требуется локализация всех дефектов агрегата, а достаточно установить наличие или отсутствие только тех дефектов, которые определяют распределение агрегатов по технологическим маршрутам.

Эффективность и качество ЦРТС в значительной степени зависят от используемых методов и средств технического диагностирования. Однако при предремонтном диагностировании неизбежны значительные по величине ошибки типа «ложная неисправность» (ошибки 1-го рода) и «пропуск неисправности» (ошибки 2-го рода). Повысить достоверность распознавания технического состояния ремонтируемого агрегата и правильность назначения технологического маршрута ремонта можно путем введения дополнительных контрольно-диагностических операций непосредственно в процесс разборки агрегата (операционного контроля разборочного процесса).

Кроме того, при операционном контроле появляется возможность локализации таких неисправностей, которые принципиально не могут быть выявлены при предремонтном диагностировании. Определение технического состояния частично разобранного агрегата также позволяет исключить искажающие влияния на определяемый диагностический параметр некоторых структурных параметров. Например, значения утечек сжатого воздуха, определяемые с помощью пневмотестера при снятой головке цилиндров, будут

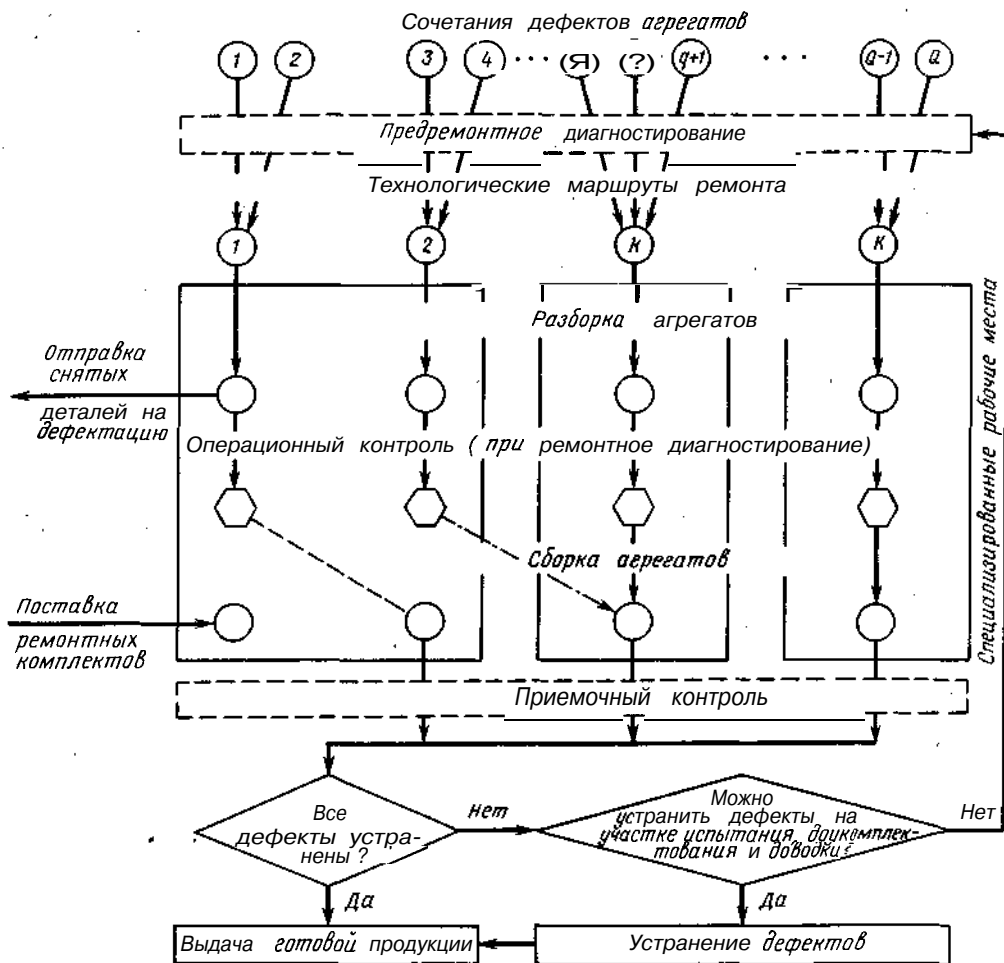


Рис. 15.2. Схема технологического процесса централизованного ремонта автомобильных агрегатов по техническому состоянию

определяться только зазорами между гильзами цилиндров и юбками поршней, между компрессионными кольцами и стенками канавок поршней. При пневмотестировании же двигателя в сборе невозможно исключить влияние на измеряемый диагностический параметр неплотностей клапанов и дефектов прокладки головки цилиндров.

На рис. 15.2 показана схема технологического процесса централизованного ремонта автомобильных агрегатов по техническому состоянию.

Каждый поступающий в ЦРТС агрегат характеризуется имеющимся у него  $q$ -м сочетанием дефектов из множества  $Q = \{q = 1, Q\}$  сочетаний дефектов, устранимых на данном предприятии. По результатам предремонтного диагностирования агрегату с  $q$ -м сочетанием дефектов назначается  $k$ -й технологический маршрут ремонта из множества  $K = \{k = 1, K\}$  технологических маршрутов, выполняемых на предприятии, причем  $K < Q$ , и в один маршрут могут объединяться агрегаты со сходными сочетаниями дефектов.

Агрегаты в соответствии с назначенными им технологическими маршрутами распределяются по специализированным рабочим местам, множество которых  $R = \{r = 1R\}$  достаточно для выполнения годового объема работ, причем на одном рабочем месте может выполняться один или несколько технологических маршрутов. В ходе разборки агрегатов выполняется операционный контроль, результаты которого могут подтвердить или опровергнуть правильность назначенного технологического маршрута. В первом случае выполняется весь комплекс разборочно-сборочных работ, предусмотренных технологическим маршрутом, после чего агрегат поступает на обкатку и испытания (приемочный контроль). В случае ошибочного назначения технологического маршрута по результатам операционного контроля агрегату назначается другой маршрут, выполняемый на этом же (штриховая линия) или другом рабочем месте (штрихпунктирная линия).

Детали, снятые в соответствии с выполняемым технологическим маршрутом, направляются на дефектацию, а на рабочие места подаются ремонтные комплекты (комплекты деталей, необходимые и достаточные для выполнения ремонта по назначенному технологическому маршруту). Восстановление деталей производится в специализированных цехах авторемонтных предприятий.

В случае обнаружения дефектов отремонтированных агрегатов при приемочном контроле они либо устраниваются на участке испытания, Доукомплектования и доводки агрегатов, либо, если это технически невозможно или экономически нецелесообразно в связи с большим объемом дополнительных работ, агрегат направляется в повторный ремонт. Соответствующий техническим условиям на приемку агрегат направляется на склад готовой продукции или выдается заказчику.

## 15.6. ПРИЕМКА В РЕМОНТ И ИЗ РЕМОНТА

Приемка ремонтного фонда в ремонт осуществляется приемщиком ремонтного предприятия который руководствуется техническими условиями на приемку, которые разрабатываются с учетом соответствующего государственного стандарта и особенностей условий эксплуатации автомобилей.

Приемка автомобилей или их составных частей в ремонт оформляется актом сдачи в присутствии представителя эксплуатирующей организации. В акте сдачи отражается комплектность сдаваемых объектов и их техническое состояние. В акте сдачи содержатся следующие данные: наименование объекта ремонта, кто принял в ремонт и кто сдал в ремонт, номер технического паспорта, наработка с начала эксплуатации или от последнего капитального ремонта, техническое состояние и комплектность, соответствует ли состояние соответствующей нормативно-технической документации (НТД) на приемку, заключение о приемке и подписи.

Сдавать объекты в ремонт разрешается после выработки норматива ресурса до первого ремонта или межремонтных ресурсов. Автомобили или их составные части, имеющие дефекты у базовых частей, не предусмотренных ТУ, на ремонт принимаются только по соглашению между заказчиком и исполнителем. Ремонтный фонд, сдаваемый в ремонт, должен быть чистым и очищен от загрязнений заказчиком. Вместе с ремфондом сдается ремонтному предприятию паспорт или формуляр предприятия-изготовителя.

Выдача изделия из ремонта также оформляется актом, в котором отражается соответствие технического состояния и комплектности изделия требованиям НТД на ремонт, или соответствующей записью в формуляре (паспорте) изделия. Технические характеристики и нормы, определяющие эксплуатационные свой-

ва изделия и качество ремонта, должны соответствовать требованиям ремонтной документации.

Изделия перед сдачей заказчику должны быть приняты службой технического контроля исполнителя ремонта на основании проверок и испытаний, установленных НТД на ремонт. Любое изменение комплектности должно быть согласовано с заказчиком.

Вместе с отремонтированным изделием исполнитель выдает паспорт или формуляр предприятия-изготовителя (или заменяющие их документы) с отметками о произведенном ремонте, акты о выдаче изделий

из ремонта и о произведенных испытаниях изделия.

Исполнитель выпускает изделия из ремонта исправными и гарантирует их работоспособность в течение определенного срока или наработки с момента ввода в эксплуатацию при соблюдении заказчиком правил эксплуатации, установленных действующими стандартами или другой НТД. Послеремонтная гарантийная наработка или гарантийный срок указывается в НТД на ремонт изделия. Гарантийные обязательства исполнителем отражаются в паспорте или другой документации отремонтированного изделия.

## Глава 16

### РАЗБОРОЧНЫЕ И ОЧИСТНЫЕ ПРОЦЕССЫ

#### 16.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ РАЗБОРОЧНЫХ РАБОТ

Разборка — это совокупность операций по разъединению всех объектов ремонта на детали и сборочные единицы в определенной последовательности. Разборочные работы включают очистку, собственно разборку, подъемно-транспортные (по перемещению объектов ремонта) работы и дефектовку. От общей трудоемкости этих работ на долю собственно разборочных приходится 60...65 %.

Разборка — один из важнейших технологических процессов в авторемонтном производстве, во многом определяющий эффективность функционирования авторемонтного предприятия (АРП) и качество ремонта. Для АРП разборка является по существу заготовительным процессом, поскольку поставляет восстановительным цехам и участкам около 50 % деталей — объектов восстановления или сборки. При этом годные детали обходятся производству примерно в 6...10 % их прейскурантной цены, отремонтированные — в 30...40 %, а заменяемые — более 110 % (за счет накладных расходов).

При разборке автомобилей и их агрегатов необходимо обеспечить максимальную сохранность деталей. Число годных деталей, трудоемкость восстановления требующих ремонта во многом зависят от организации и технологии разборочных работ.

Разборочные работы органично сочетаются с многостадийной очисткой. С этой целью разборка выполняется, как правило, в несколько этапов: предварительная подразборка узла, агрегата и окончательная разборка (в один или несколько этапов). Этапы разборки чередуются с очистными операциями, что позволяет повысить качество очистки агрегатов и узлов автомобиля, улучшить условия труда слесарей-разборщиков, а также сократить потери мелких деталей и стандартного крепежа во время разборки.

Разборка в зависимости от объема производства может быть организована на *стационарных постах* или на *поточных линиях*. Поточная форма организации разборочного процесса является прогрессивной и позволяет улучшить качество разборки и снизить себестоимость разборочных работ. Применение поточного метода разборки позволяет сосредоточить



одноименные операции на специализированных постах, сократить количество одноименных инструментов на 30 %, увеличить интенсивность использования технологической оснастки на 50 % и увеличить производительность труда разборщиков на 20 %.

На предприятиях с разномарочной небольшой программой по капитальному ремонту целесообразно применять многопредметные поточные линии. Для повышения эффективности разборочных работ необходимо применять методы экономического стимулирования за увеличение выхода готовых деталей из числа наиболее часто повреждаемых. Организация разборочного процесса должна обеспечить ритмичность производственного цикла.

Разборка автомобилей на агрегаты, узлы и детали производится в последовательности, предусмотренной технологической документацией, оформленной в виде карты эскизов, маршрутной и операционных карт. При разборке нельзя разуккомплектовывать сопряженные пары, которые на заводе-изготовителе обрабатывают в сборе или балансируют: крышки коренных подшипников с блоком цилиндров, крышки шатунов с шатунами, картер сцепления с блоком цилиндров, коленчатый вал с маховиком двигателя, перегородки с корпусом заднего моста, вал ротора турбокомпрессора с колесами турбины и компрессора и др. Нельзя разуккомплектовывать детали с резьбой повышенной точности (болты и гайки крепления крышек шатунов, маховика к коленчатому валу). При разборке эти детали маркируют, чтобы предотвратить случайное разуккомплектование.

Технология капитального ремонта предусматривает полную разборку соединений на детали, включая разъединение при необходимости клепаных, вальцованных, сварных, паяных, клееных и других соединений, что облегчает проведение очистных и дефектовочных работ.

Наиболее многочисленны (до 70 %) в конструкции автомобиля резьбовые соединения (РС) и соединения с гарантированным натягом (20...40 %). Широкое распространение РС объясняется простотой и надежностью, удобством регулирования затяжки, возможностью разборки и повторной сборки без замены деталей. При разборке РС значительные трудности представляют отвертывание соединений, находящихся в тяжелых условиях эксплуатации.

Трудоемкость разборки соединений с гарантированным натягом составляет около 20 % общей трудоемкости разборочных работ. Среди деталей, входящих в эти соединения, наибольший процент составляют подшипники (около 28 %), втулки (23 %), шестерни (13%), пальцы, оси, штифты (11 %), сальники (8%).

## **16.2. СРЕДСТВА РАЗБОРКИ. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗБОРОЧНЫХ РАБОТ**

Средства разборки — совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса. Средства технологического оснащения разборки включают технологическое оборудование, а также технологическую оснастку. На современных ремонтных предприятиях применяют следующие средства технологического оснащения: подъемно-транспортные механизмы и машины (домкраты, лебедки и тали, подъемники, краны, конвейеры), ручные машины (гайко-, шпилько- и шуруповерты), простые стенды, универсальный (ключи, отвертки, пассатижи, щипцы, бородки, съемники) и специализированный инструмент.

*Домкраты* представляют собой простейшие грузоподъемные механизмы и предназначены для подъема ремонтируемых изделий на высоту до 400 мм. Различают реечные, винтовые и гидравлические домкраты. Привод может быть ручным и механическим.

*Подъемники* — грузоподъемные машины прерывного (циклического) действия для подъема ремонтируемых автомобилей и агрегатов в грузонесущих устройствах, перемещающихся по жестким вертикальным направляющим. Подъемники разделяются на пневматические и гидравлические.

*Краны* разделяются на мостовые, поворотные, консольные, козловые и краны-штабелеры. *Конвейеры* разделяют на грузонесущие, грузоведущие, тележечные, пластинчатые, роликовые и др. Для подвешивания грузов к крану или захвату подвижного блока полиспаста применяются стропы, расчалки, захваты и траверсы.

К основным направлениям повышения эффективности разборочных работ следует отнести: разработку и внедрение прогрессивных высокопроизводительных методов разборки основных видов соединений, обеспечивающих высокую сохранность деталей; снижение трудоемкости разборочных работ на основе их механизации и автоматизации, в том числе применения промышленных роботов. Опыт передовых ремонтных предприятий показывает, что соблюдение технологии разборочных работ и применение при этом эффективных средств механизации позволяет увеличить объем повторного использования подшипников на 15...20 %, стандартного крепежа до 25 %, кронштейнов до 10 %, снизить затраты на ремонт автомобилей на 5...6 %.

В настоящее время средний уровень механизации разборочных работ не превышает 20 %, в том числе: разборки передних мостов — 15 %; задних — 17 %; подразборки двигателей и коробок передач — 16 %; окончательной разборки двигателей — 25 %, коробок передач — 35 %. При этом анализ показывает, что разборка примерно 60 % всех соединений автомобиля может быть механизирована. Дальнейшая механизация разборочных работ в определенной степени сдерживается не-

достаточной ремонтной технологичностью отдельных видов соединений. Это выражается в отсутствии демонтажных баз сопряжений, их ненадежности и недоступности, что препятствует применению специализированной разборочной оснастки. Значительно затрудняет механизацию наличие в конструкции автомобиля большого числа типоразмеров крепежных деталей.

При разборке используют ручные машины с электрическим, пневматическим и гидравлическим приводом. *Ручной машиной* называется устройство, масса которого при работе полностью или частично воспринимается руками исполнителя. Главное рабочее движение (движение рабочего органа) осуществляет двигатель, а вспомогательное (движение подачи) и управление машиной выполняется вручную. При работе ручными машинами применяются сменные торцовые головки-ключи, насадки, отвертки и т. д. Ручную машину укрепляют над постом разборки на эластичных или жестких подвесках. Эластичные подвески (с цилиндрической и спиральной пружинами) не воспринимают реактивный крутящий момент до 100 Н·м. Жесткая подвеска более удобна при пользовании, ее можно применять для машин с любым крутящим моментом.

Разборку резьбовых соединений рекомендуется выполнять с помощью винтовертных машин — *гайковертов* (рис. 16.1). Применение их позволяет повысить производительность труда при разборке резьбовых соединений в 3,5...4,5 раза, трудоемкость разборочных работ сокращается при этом на 15...20 %. Разборка с помощью гайковертов обеспечивает меньшую повреждаемость резьбовых крепежных деталей, способствует снижению утомляемости разборщика, улучшает условия труда.

В авторемонтном производстве наиболее широкое распространение получили гайковерты с пневматическим приводом, отличающиеся простой конструкции и безопасностью в

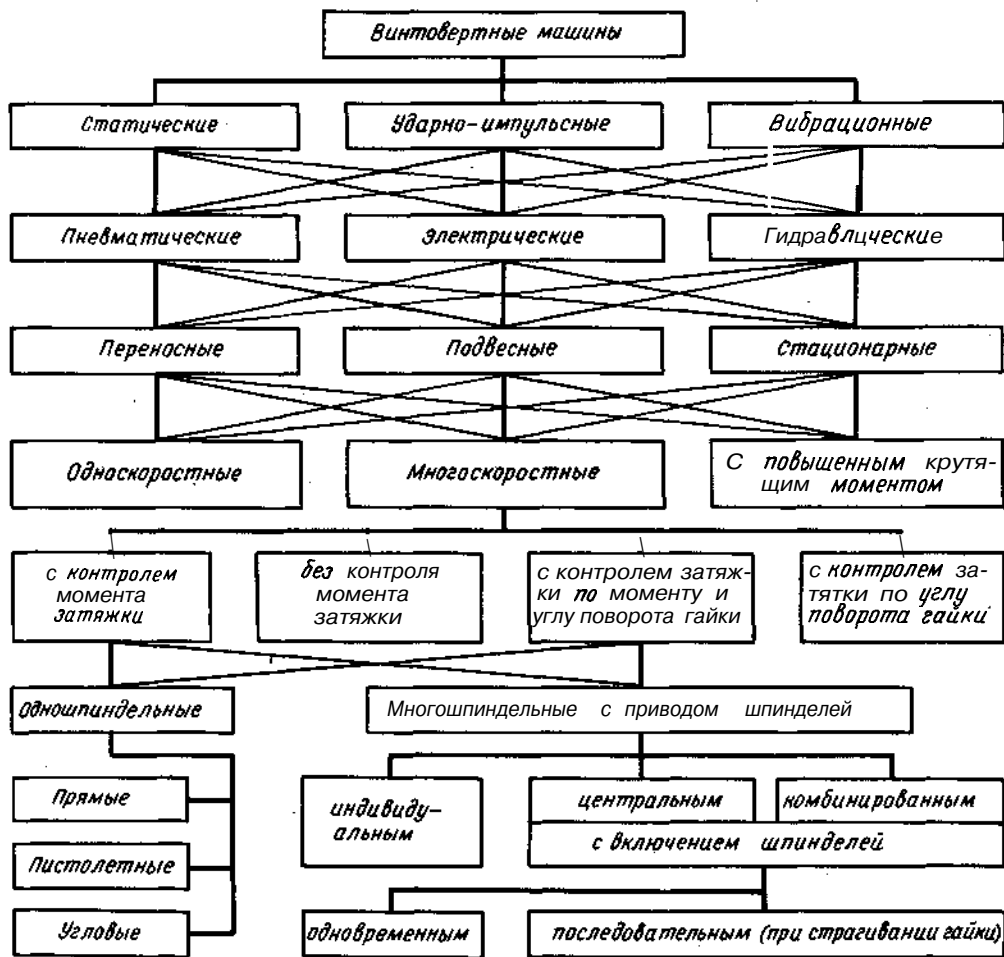


Рис. 16.1. Классификация основных винтовертных машин

работе. Существенным достоинством пневмопривода является высокая надежность в работе, особенно при частых перегрузках (вплоть до полной остановки шпинделя). К недостаткам пневматического привода относятся необходимость применения устройства подготовки и подачи сжатого воздуха, а также недостаточная жесткая нагрузочная характеристика привода, что обуславливает снижение угловой скорости шпинделя при возрастании нагрузки, а также повышенный шум при работе.

Электрический привод гайковертов реализуется на основе двигателей

переменного тока (коллекторных и асинхронных). Электропривод обладает (по сравнению с пневматическим) меньшей шумностью, меньшими эксплуатационными затратами и лучшими динамическими характеристиками. Недостатком электропривода является малая устойчивость к перегрузкам. Кроме того, промышленное применение электрического привода требует особого внимания к мерам безопасности от поражения электрическим током.

Гидравлический привод позволяет развивать большие разборочные усилия и поэтому обычно применяется,

**Таблица 16.1. Ориентировочные диапазоны крутящих моментов при разборке резьбовых соединений автомобилей из углеродистых сталей**

Размер резьбы	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M24	M27
Крутящий момент, Н·м	15...20	20...50	40...80	60...120	100...150	150...200	180...300	200...350	300...450	350...500

когда крутящий момент при разборке превышает 500 Н·м (табл. 16.1). Гидравлический привод обладает высоким КПД и допускает превышение номинального крутящего момента. Широкое применение гайковертов с гидроприводом в авторемонтном производстве сдерживается необходимостью иметь автономные гидростанции и сложностью их эксплуатации.

По характеру приложения нагрузки к разбираемому соединению различают гайковерты статического действия, ударно-импульсного действия и вибрационные гайковерты (см. рис. 16.1). В статических гайковертах крутящий момент, развиваемый двигателем привода с помощью редуктора, непосредственно передается на шпиндель. Когда крутящий момент шпинделя передается разбираемому соединению, на корпусе гайковерта возникает реактивный момент, который необходимо компенсировать с помощью усилия рук разборщика либо применяя специальные упоры, воспринимающие реактивный момент. Поэтому гайковерты статического действия применяются для разборки резьбовых соединений малого размера, требующих небольших разборочных усилий.

В ударно-импульсных гайковертах крутящий момент от привода преобразуется и передается шпинделю в виде серии ударных импульсов. При этом реактивный момент полностью отсутствует, что позволяет применять гайковерты этого типа для разборки резьбовых соединений большого диаметра. Большинство из серийно выпускаемых таких гайковертов имеет частоту 16...40 ударов в секунду. Кроме того, промышлен-

ность выпускает несколько моделей редкоударных гайковертов (1...2 удара в секунду). Редкоударные гайковерты характеризуются высокой энергией удара (до 100 Дж), что позволяет разбирать резьбовые соединения весьма большого диаметра. Кроме того, они имеют более высокую энергоемкость и КПД. Ударно-импульсные КПД получили наибольшее распространение при ремонте автомобилей, причем отсутствие реактивного момента позволяет использовать их в качестве инструмента при автоматизации разборочных работ.

В вибрационных гайковертах при разборке статический крутящий момент сочетается с вибрацией шпинделя. Использование вибрации способствует снижению усилия, необходимого для отвинчивания резьбового соединения. Гайковерты этого типа не получили широкого распространения из-за конструктивной сложности, недостаточной эффективности, а также вредного влияния вибрации на организм человека.

По числу одновременно разбираемых резьбовых соединений различают одно- и многошпиндельные гайковерты. Одношпиндельные гайковерты в зависимости от взаимного положения оси шпинделя и оси корпуса подразделяются на прямые (оси параллельны) и угловые.

Многошпиндельные гайковерты классифицируют в зависимости от способа привода шпинделей на гайковерты с индивидуальным приводом шпинделей, с центральным приводом (все шпиндели приводятся во вращение от одного двигателя через многопоточный редуктор), а также с комбинированным приводом. Среди

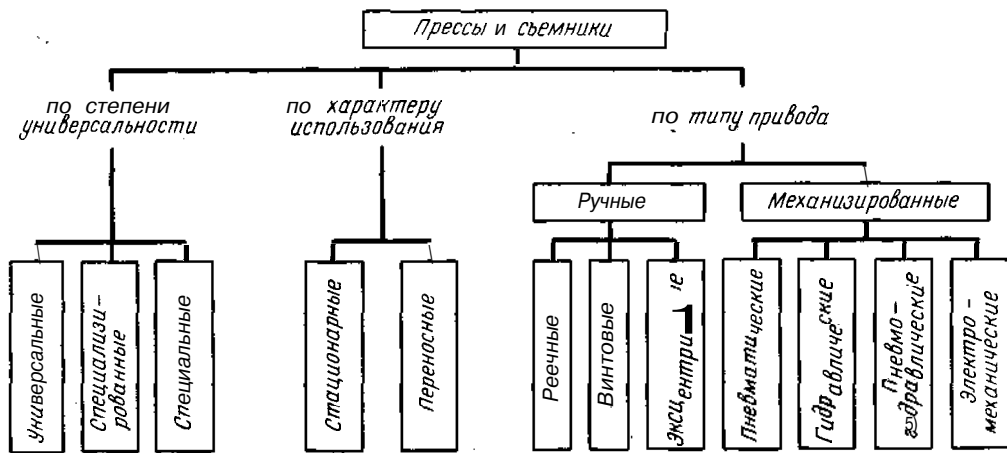


Рис. 16.2. Классификация прессов и съёмников

гайковертовскомбинированнымприводом также существуют разновидности: гайковерты с одновременным вращением всех шпинделей и гайковерты с последовательным включением шпинделей (позволяющим сконцентрировать усилие на одном из шпинделей при отвинчивании резьбовых соединений большого диаметра).

Применение многошпиндельных гайковертов целесообразно, если производственная программа предприятия превышает 8000 ремонтов в год. При этом трудоемкость разборки резьбовых соединений снижается на 34 % по сравнению с одношпиндельными гайковертами.

В зависимости от способности варьировать частоту вращения шпинделя при разборке различают одно- и многоскоростные гайковерты. Перспективную разновидность многоскоростных гайковертов представляют собой гайковерты с двухступенчатым приводом вращения, имеющие одну ступень высокомоментную, но низкоскоростную, которая действует краткое время при страгивании резьбового соединения с места, а другую низкомоментную, но высокоскоростную, действующую при дальнейшем свободном отвинчивании этого резьбового соединения.

Для разборки соединений с гарантированным натягом в настоящее

время основным оборудованием являются прессы и съёмники с ручным и механизированным приводом (рис. 16.2). Прессы и механизированные съёмники обеспечивают повышение производительности в 3...5 раз по сравнению с ручными. Среди механизированных приводов наибольшее распространение получили гидравлический и пневматический. Наиболее производительными являются многопостовые гидравлические установки со сменными захватами и съёмниками.

Недостаток применения прессов и съёмников состоит в том, что при выпрессовке происходит повреждение посадочных поверхностей сопрягаемых деталей, поэтому повторное их использование без проведения восстановительных работ, как правило, невозможно. Существует ряд методов разборки соединений с гарантированным натягом, позволяющих существенно снизить повреждаемость деталей. К их числу относятся гидропрессовый и индукционно-тепловой.

*Гидропрессовый метод* основан на создании между контактирующими поверхностями деталей масляной прослойки под давлением 150...400 МПа. Решающим фактором применения данного метода является возможность создания в зоне сопря-

жения такого давления масла, которое обеспечило бы устойчивую масляную пленку. Это определяется способами подачи масла в сопряжение, а также используемым для этой цели оборудованием. Как показывает практика, основным недостатком этого метода, препятствующим его широкому распространению, является необходимость предварительной подготовки соединения, т. е. изготовления специальных канавок, выточек для прохода масла в зону контакта сопрягаемых деталей.

*Индукционно-тепловой метод* основан на индукционном нагреве охватываемой детали. При этом разъединение деталей происходит при тепловом зазоре, что обеспечивает разборку соединений с гарантированным натягом без повреждения посадочных поверхностей. Зазор образуется вследствие нагрева охватываемой детали со скоростью, превышающей скорость передачи тепла в охватываемую деталь через поверхность их контакта. Этот метод также применим для демонтажа соединений из разнородных материалов. В этом случае разъединение происходит после охлаждения соединения вследствие различия коэффициентов линейного расширения материалов деталей.

Преимуществами индукционно-тепловой разборки являются быстрота, универсальность, а также сохранность деталей для последующего использования. Кроме того, тепловая разборка имеет определенные преимущества, связанные с возможностью автоматизации процесса. Индукционные нагревательные установки, особенно работающие на токах промышленной частоты, компактны, удобны в эксплуатации, легко встраиваются в автоматизированные линии.

В процессе нагрева посадочная поверхность охватываемой детали должна расширяться на величину, компенсирующую натяг и увеличение диаметра охватываемой детали. Выполнение этого условия обеспечивается правильным выбором скорости

нагрева и назначением соответствующей мощности индукционно-нагревательного устройства. Скорость нагрева, особенно для деталей сложной конфигурации, не должна превышать скорости, при которой возникают опасные температурные напряжения. Степень нагрева ограничивается температурой необратимого изменения физико-механических свойств материала детали. Опыт показывает, что в процессе нагрева до 250...300 °С (для подшипников качения — не выше 100 °С) изменений структуры и физико-механических свойств материала не происходит. Продолжительность нагрева не должна превышать 25...30 с.

Фактором, сдерживающим широкое внедрение этого метода в авторемонтное производство, является недостаточный выпуск оборудования для индукционного нагрева, в частности индукторов для непосредственного воздействия на детали, а также достаточно высокий расход энергии на нагрев.

Наиболее радикальным средством повышения производительности и эффективности разборочных работ является их автоматизация. Специфика разборочных работ при ремонте машин заключается в том, что состояние поступающего на разборку ремфонда неоднородно. Поэтому даже для одинаковых операций разборки возможны некоторые колебания технологических режимов, например разборочных усилий, оперативного времени, причем подобные колебания носят случайный характер. Эта особенность разборочного процесса затрудняет, а в большинстве случаев делает невозможным применение традиционных средств автоматизации технологических процессов. В настоящее время существует единственный класс средств автоматизации, обладающий возможностью адаптации к различного рода колебаниям технологической среды — промышленные роботы.

Следует отметить, что попытки осуществить сразу полную автома-

тизацию часто экономически не оправдываются. Вначале следует провести автоматизацию относительно простых операций, оставив обычные средства механизации на тех работах, автоматизация которых в настоящее время затруднена.

Очередность и эффективность автоматизации отдельных операций разборки определяется их трудоемкостью. Поскольку около 60 % общей трудоемкости разборочных работ составляет разборка резьбовых соединений, целесообразно именно ее автоматизировать в первую очередь. В различных отраслях машиностроения, а также в авторемонтном производстве накоплен значительный опыт автоматизации сборки резьбовых соединений. Разработаны автоматизированные инструменты для сборки резьбовых соединений. Анализ показал, что автоматические гайковерты ударно-импульсного действия могут применяться в качестве рабочего инструмента и при роботизированной разборке резьбовых соединений. При этом для разборки могут применяться такие относительно несложные отечественные промышленные роботы (ПР), как Бриг-10, Универсал-15, а также некоторые зарубежные модели, например DSE-I-IV.

ПР оснащаются вспомогательным оборудованием, включающим в себя автоматические кантователи, служащие для закрепления, базирования и ориентирования разбираемого изделия, накопители, конвейеры и тару для демонтированных деталей и узлов. ПР вместе со вспомогательным оборудованием образует роботизированный технологический комплекс (РТК). Комплексы могут быть использованы для разборки агрегатов автомобилей при условии экономической эффективности их применения. Источниками экономической эффективности роботизации является повышение производительности за счет сокращения доли ручного труда, уменьшение потерь, вызванных особенностями организма чело-

века (утомляемость и пр.), снижение повреждаемости деталей при разборке. Расчетами установлено, что применение РТК для разборки эффективно при объеме производства не менее 10 000 ремонтируемых агрегатов в год.

При разборке силовых агрегатов автомобилей промышленные роботы могут быть использованы для снятия: хrapовика, шкива коленчатого вала, впускного коллектора, шитка свечей зажигания, крышек головок блока, крышки распределительных шестерен, масляного картера и его перегородки, маслоприемника и поддона картера маховика, головок блока цилиндров с выпускными коллекторами в сборе, крышек коренных подшипников, коленчатого вала в сборе с маховиком и сцеплением, гильз цилиндров.

Автоматизация разборочных процессов должна быть комплексной, т. е. наряду с собственно разборочными операциями по разъединению деталей следует ставить задачу автоматизации вспомогательных операций (погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских).

### **16.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И МЕТОДЫ ОЧИСТКИ**

Вследствие разнообразия загрязнений технологические процессы очистки и мойки предусматривают многостадийность удаления специфических загрязнений. При этом на каждой стадии мойки и очистки решается задача удаления определенного вида загрязнений, отличающегося своим составом, прочностью и адгезией к поверхности детали. Так, например, агрегаты автомобиля подвергаются наружной мойке, а на второй стадии производится наружная и внутренняя мойка подрабoванного агрегата. Детали моются и очищаются в несколько стадий. Число стадий обуславливается степенью и характером загрязнений, а также требованиями к качеству очистки.

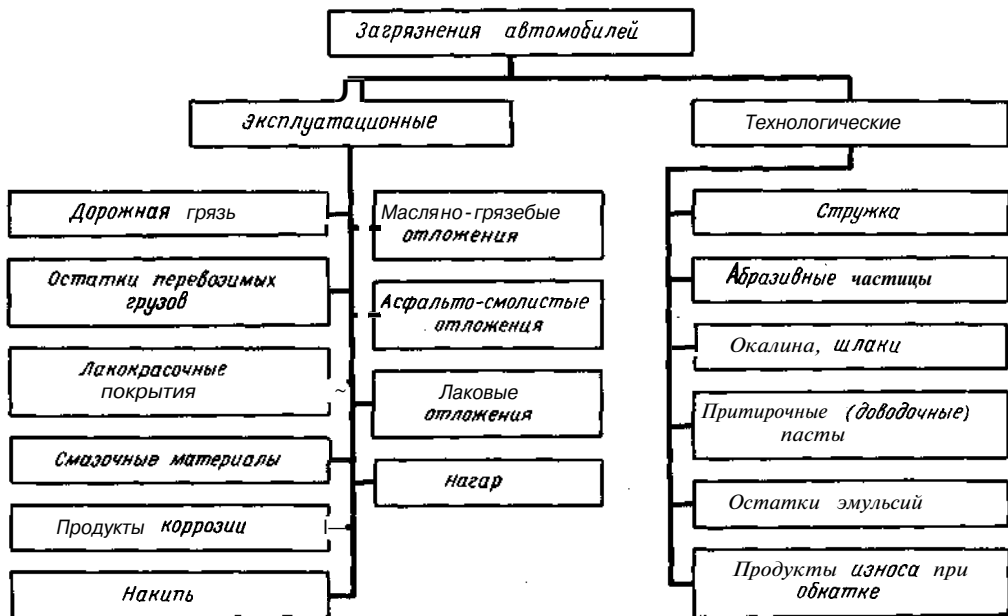


Рис. 16.3. Классификация загрязнений

Качество это должно соответствовать состоянию шероховатости поверхности новой детали.

Встречающиеся в процессе ремонта загрязнения разделяются (рис. 16.3) на эксплуатационные, возникновение которых связано с условиями эксплуатации автомобилей, и технологические, образующиеся в процессе ремонта автомобилей. Дорожная грязь, остатки перевозимых грузов отлагаются на внешней поверхности автомобиля, его агрегатах и узлах. Наиболее прочные из них — остатки бетона, битума и др. Лакокрасочные покрытия как загрязнения удаляются при ремонте рам, кузовов, кабин и других составных частей автомобиля. Масла и смазки — наиболее распространенный вид загрязнений. Их прочность и адгезия к поверхности очищаемых деталей и узлов определяется условиями эксплуатации. Масла и смазки претерпевают изменения, вызываемые процессами полимеризации и окисления в результате старения. Продукты коррозии образуются в результате

химического и электрохимического разрушения металлов и сплавов. На поверхности стальных и чугунных деталей — это гидрат окиси железа, на алюминиевых — окись или гидрат окиси алюминия. Накипь образуется в системе водяного охлаждения двигателя вследствие содержания в охлаждающей воде солей кальция и магния. Масляно-грязевые отложения образуются при смешении дорожной грязи и пыли с маслом, находящимся на поверхности деталей.

В двигателях процессы старения масла и сгорания топлива сопровождаются образованием наиболее трудноудаляемых загрязнений — углеродистых отложений, подразделяющихся на осадки, лаки и нагары. Осадки — мазеобразные сгустки, отлагающиеся на стенках картера двигателя, коленчатых валах, масляных насосах, фильтрах, маслопроводах и др. Осадки состоят из продуктов физико-химического изменения топлива и масла и механических примесей в виде пыли, продуктов из-



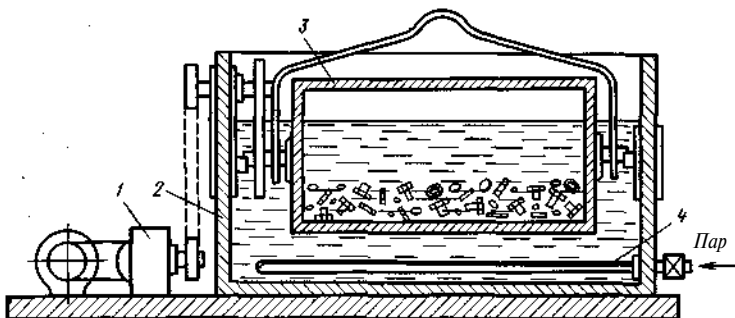


Рис. 16.4. Очистка деталей в галтовочных барабанах:  
 / — привод вращения барабана; 2 — ванна; 3 — барабан; 4 — нагреватель

носа деталей. Осадки часто именуются асфальтосмолистыми отложениями. Лаковые отложения — продукты полимеризации топлива и масел в тонком слое, образуются на деталях карбюраторов и внутренней поверхности поршней. Нагары — углеродистые отложения, образующиеся на деталях, подвергнутых воздействию высоких температур (свыше 150 °С). Нагар отлагается на днище поршня, компрессионных кольцах, на поверхности камеры сгорания, на клапанах, в выпускных коллекторах, на свечах и распылителях форсунок.

Углеродистые отложения включают следующие группы веществ: масла и нейтральные смолы, оксикислоты, асфальтены, карбены и карбоиды и несгораемый остаток — золу. Нейтральные смолы полностью растворяются в петролейном эфире и бензине. Оксикислоты — органические кислоты, способны диссоциировать, образовывать соли, окисляться. Асфальтены — продукты уплотнения нейтральных смол, представляют собой твердые, хрупкие вещества, разлагающиеся при температуре более 300 °С с образованием кокса и газов. Асфальтены растворимы в бензоле, хлороформе, сероуглероде. Карбены и карбоиды — продукты полимеризации углеводородов при термическом разложении масел и топлив, не растворяются в бензоле. Карбены растворимы в сероуглероде, пиридине, а карбоиды нерастворимы ни в чем.

В процессе ремонта детали могут быть загрязнены веществами, связанными с технологией ремонта. Технологические загрязнения имеют свои особенности, которые необходимо учитывать при выборе технологии и оборудования для очистки.

Практика ремонтного производства располагает большим набором различных методов очистки: механическим, физическим, химическим, термическим и комбинированным (физико-химическим, химико-термическим). В основе каждого метода лежит определенный способ разрушения загрязнений и их удаления с поверхности очищаемых узлов и деталей. Для активизации процессов очистки применяют различные способы их интенсификации: повышение температуры и давления технологической среды, барботаж и вибрационная обработка и пр. (рис. 16.4).

Очистка поверхности от загрязнений в общем случае связана с осуществлением работы  $A_0$  по разрушению загрязнений (преодоление прочностных, когезионных сил) и по удалению загрязнений с очищаемой поверхности (преодоление сил сцепления или адгезионных сил). Работа по очистке  $A_0$  может быть представлена так же, как

$$A_0 = A_{\text{ф-х}} + A_{\text{м}},$$

где  $A_{\text{ф-х}}$  — работа, совершаемая в технологической среде за счет ее физико-химической активности;  $A_{\text{м}}$  — работа, связанная с механическим воздействием

среды на загрязнение и его адгезию с очищаемой поверхностью.

Существуют способы очистки, где преобладает тот или иной вид работы, например при очистке в парах растворителя  $A_m = 0$ , а при очистке косточковой крошкой  $A_{ф-x} = 0$ . На практике в большинстве случаев совершаются оба вида работ. Работа  $A_{ф-x}$  зависит от моюще-очищающей активности технологической среды: ее вида, концентрации и температуры. Технологические среды (растворы моющих средств, растворители и их пары, растворяюще-эмульгирующие средства) отличаются по своему очищающему действию в десятки раз, а повышение температуры на  $10...15^\circ\text{C}$  увеличивает скорость очистки в  $1,5...2$  раза. Работа  $A_m$  зависит от способа возмущения технологической среды (струей, барботажем, вибрацией, ультразвуковыми колебаниями и т. п.). Различные способы возмущения (активации) технологической среды позволяют ускорить процесс очистки в  $2...2,5$  раза. Правильное соотношение между  $A_{ф-x}$  и  $A_m$  определяется на основании технологических и экономических соображений.

Процесс удаления загрязнений с поверхности и перевод их в моющий раствор в виде растворов или дисперсий определяют моющий эффект. Основными явлениями, определяющими моющий эффект, являются смачивание, эмульгирование, диспергирование, стабилизация и пенообразование, которые в свою очередь связаны с поверхностным натяжением и поверхностной активностью моющих средств. Вещества, понижающие поверхностное натяжение (определяемое работой, которую необходимо затратить для увеличения поверхности жидкости), называются поверхностно-активными веществами (ПАВ). Как правило, ПАВ — это полярные органические соединения. Их полярность обусловлена строением молекул, состоящих из двух различных по свойствам частей. Одна часть молекулы яв-

ляется гидрофобной (водоотталкивающей) и способствует растворению ПАВ в масле, а другая часть — гидрофильной и способствует растворению ПАВ в воде. Введение ПАВ в моющие растворы приводит к появлению у них комплекса свойств, характеризующих моющее действие.

*Смачивание* заключается в растекании капли жидкости, помещенной на поверхности твердого тела. Поверхности, смачиваемые водой, называются *гидрофильными*, а не смачиваемые водой — *гидрофобными*. Смачиваемость твердого тела жидкостью зависит от поверхностного натяжения жидкости, природы и состава жидкости и твердого тела. Например, поверхности, загрязненные маслами, хорошо смачиваются углеводородными растворителями и не смачиваются чистой водой. Добавление в воду ПАВ понижает поверхностное натяжение воды и обеспечивает смачивание загрязненных маслами поверхностей.

В большинстве случаев загрязнения состоят из двух фаз: жидкой (масла, смолы) и твердой (асфальтены, карбены, почвенные и пылевые частицы и т. п.). Удаление таких загрязнений с поверхности происходит двумя путями: эмульгированием жидкой фазы (образованием эмульсий) и диспергированием твердой фазы (образованием дисперсий).

*Эмульсией* называется система насыщенных жидкостей, одна из которых распределена в виде мелких капель в другой. Эмульсии подразделяются на два типа: прямые — «масло в воде», и обратные — «вода в масле». Под маслом здесь понимается любая органическая жидкость, не растворимая в воде и водных растворах.

*Эмульгирование* жидкой фазы загрязнений возможно в водных растворах ПАВ. Их молекулы создают на поверхности капель масла прочные адсорбционные слои. Гидрофобная часть молекулы связывается с маслом, а гидрофильная ориентируется в сторону водного раствора

(рис. 16.5). При этом происходит гидрофилизация капель масла, что препятствует их слиянию (коалесценции). Вещества, в данном случае ПАВ, адсорбирующиеся на поверхности гидрофобных частиц, называются *эмульгаторами*.

*Диспергирование* твердой фазы загрязнений происходит благодаря адсорбции ПАВ на частицах загрязнений. Малое поверхностное натяжение раствора позволяет ему проникать в мельчайшие трещины частиц загрязнения и адсорбироваться на поверхностях этих частиц. Адсорбированные молекулы ПАВ создают раскливающее давление на частицы, разрушая и измельчая их. На процессы эмульгирования и диспергирования большое влияние оказывает механическое воздействие раствора, способствующее разрушению загрязнений.

*Стабилизация* в растворе смытых загрязнений и предупреждение их повторного осаждения на очищенную поверхность является важным этапом в моющем процессе. Стабилизация загрязнений зависит от состава моющего раствора и технологических условий его применения (концентрация, температура, загрязненность).

В итоге моющий процесс в соответствии с методикой, предложенной Н. Ф. Тельновым, можно представить состоящим из ряда последовательных этапов. Поскольку почти все загрязнения гидрофобны, то вода, обладая большим поверхностным натяжением, не смачивает загрязненные поверхности и стягивается в отдельные капли (рис. 16.5, а). При растворении в воде моющего средства поверхностное натяжение раствора резко уменьшается и раствор смачивает загрязнение, проникая в его трещины и поры (рис. 16.5, б). При этом снижается сцепляемость частиц загрязнения между собой и с поверхностью. При механическом воздействии увлекаемые молекулами моющего средства грязевые частицы переходят в раствор (рис. 16.5, в).

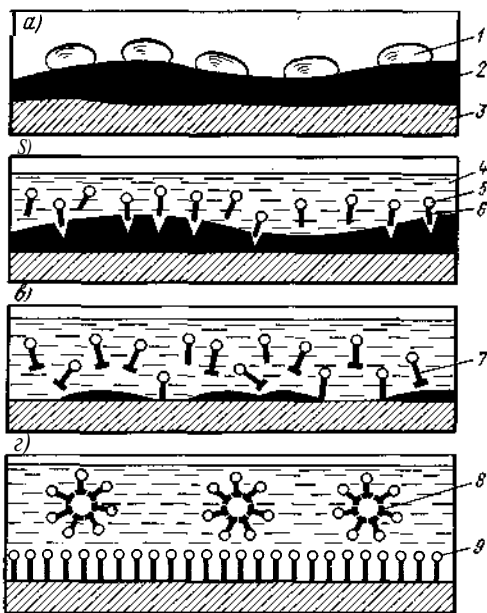


Рис. 16.5. Схема моющего процесса:

1— капли воды; 2— загрязнение; 3— очищаемая поверхность; 4— моющий раствор; 5— гидрофильная часть молекулы ПАВ; 6— гидрофобная часть молекулы ПАВ (радикал); 7— перешедшие в раствор частицы загрязнения; 8— стабилизированные в растворе частицы загрязнения; 9— адсорбированные молекулы ПАВ на очищенной поверхности

Молекулы моющего средства обволакивают загрязнения и отмытую поверхность, что препятствует укрупнению частиц и оседанию их на поверхность (рис. 16.5, в). В результате частицы загрязнения во взвешенном состоянии стабилизируются в растворе и удаляются вместе с ним.

При очистке поверхности металлов большое значение имеет *пенообразование*. В одних случаях пенообразование — это положительное явление, например при пароводоструйной или электролитической очистке, когда слой пены предотвращает разбрызгивание моющего раствора или создает защитный слой, уменьшающий проникновение едких испарений в атмосферу. В большинстве же случаев пенообразование является отрицательным фактором, т. е. ограничивает использование интенсивного перемешивания моющего раствора. Например, в струйных моечных

машинах нельзя применять мощные средства с высоким уровнем пенообразования.

Важнейшим фактором, определяющим эффективность очистки, является *щелочность* моющих растворов, определяемая способностью растворов нейтрализовать кислые компоненты загрязнений, омылять масла, снижать контактное натяжение растворов, жесткость воды и т. п. Различают общую и активную щелочность. Общая щелочность определяется титрованием кислотой с индикатором метилоранжем, а активная — титрованием с фенолфталеином. Моющее действие растворов зависит только от уровня активной щелочности.

#### 16.4. МОЮЩИЕ СРЕДСТВА И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

##### 16.4.1. Моющие средства

Применяемые на авторемонтных предприятиях моющие средства могут быть разделены на водно-щелочные растворы с добавками ПАВ, синтетические моющие средства, растворители и растворяюще-эмульгирующие средства.

Основу *водно-щелочных* растворов составляют водные растворы щелочных соединений  $\text{NaOH}$  (каустика), кальцинированной соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), силикатов (силикат натрия  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  и метасиликат натрия  $\text{Na}_2\text{SiO}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ), фосфатов (тринатрийфосфат  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и триполифосфат).

Вследствие того что моющие растворы на основе щелочных соединений могут оказывать корродирующее действие, в их состав вводятся *ингибиторы коррозии*, защитные свойства которых состоят в образовании на поверхности металла защитной пленки в виде продукта реакции между металлом, ингибитором коррозии и коррозионно-активной средой. В качестве ингибиторов коррозии наибольшее распространение в практике ремонтного произ-

водства получили такие вещества, как жидкое стекло, представляющее водный раствор силиката натрия концентрацией 40...60 %, двуххромовокислый калий, хромпик и др. Широкое распространение в качестве ингибиторов коррозии получили органические соединения — дифиниламин, моноэтаноламин и триэтанолламин и др.

Составы водно-щелочных растворов для моечно-очистных операций представляют собой различные композиции из следующих компонентов: едкий натр, кальцинированная сода, жидкое стекло, хромпик, мыло и др. В зависимости от назначения композиции содержат определенный набор компонентов различной концентрации. Эти моющие растворы для выварки деталей нагревают до 80...95 °С и детали выдерживают в них в течение 2...6 ч в зависимости от степени и состава загрязнений. При струйной мойке продолжительность очистки составляет 10...25 мин. Состав композиции моющего раствора также обуславливается материалом детали. Применяются соответствующие растворы как для стальных и чугунных деталей, так и для деталей из алюминиевых и цветных сплавов.

Большое распространение в практике ремонтных предприятий в последнее время получили *синтетические моющие средства (СМС)*. Основу СМС составляют ПАВ с добавлением щелочных соединений. Водные растворы СМС по моющей способности значительно превосходят растворы едкого натра и различных щелочных смесей (табл. 16.2).

Основные преимущества СМС перед водно-щелочными растворами состоят в том, что они представляют заранее приготовленную смесь в виде сыпучего, гигроскопического порошка, не допускающего повреждения рук оператора. Они нетоксичны, негорючи, пожаробезопасны и легко растворимы в воде.

*Растворители* — вещества органического происхождения, получили

Таблица 16.2. Состав технических моющих средств общего назначения, % массы

Компоненты	Марки моющих средств						Темп-100
	Лабомид-		МС-				
	101	203	6	8	15	16	
Кальцинированная сода	50	50	40	38	44...42	40...42	40,5
Тринатрийфосфат	—	—	—	—	—	—	20
Триполифосфат натрия	30	30	25	25	22	26	15
Метасиликат »	16,5	10	29	29	28	28	20
Карбамид	—	—	—	—	—	—	2,5
Синтанол ДС-10	3,5	8	6	—	—	—	1,5
Синтамид-5	—	—	—	8	—	—	—
Алкилсульфаты	—	2	—	—	—	—	—
Оксифос-Б	—	—	—	—	6...8	—	—
Синтамид-510	—	—	—	—	—	4...6	—
Оксифос КД-6	—	—	—	—	—	—	0,5

распространение на ремонтных предприятиях благодаря своему основному качеству — высокой растворяющей способности. Чем выше растворяющая способность, тем быстрее очищается загрязненная поверхность и меньше расход растворителя.

Преимуществом органических растворителей является их пригодность к практически полной регенерации. Наибольшее распространение при ремонте получили смешанные растворители: дизельное топливо, керосин, бензин, ацетон, уайт-спирт, перхлорэтилен, трихлорэтилен.

Растворители применяют в основном для замачивания деталей с целью растворения и размягчения трудноудаляемых углеродистых отложений. Основным недостатком большинства растворителей является их пожароопасность и токсичность. При разработке технологии и оборудования на основе органических растворителей необходимо учитывать, что вследствие их высокой растворяющей способности в технологической среде всегда остается некоторое количество растворенных загрязнений, которое неизбежно переходит и на поверхность очищаемых деталей. Это обстоятельство необходимо учитывать и при высоких требованиях к степени очистки деталей, например при очистке прецизионных деталей топливной аппара-

туры, электрооборудования и др. В этих случаях применяют многостадийную мойку в растворителях, в отдельных случаях на заключительных стадиях процесс мойки осуществляется в парах растворителя.

*Растворяюще-эмульгирующие средства (РЭС)* состоят из базового растворителя, соразработителя, ПАВ и небольшого количества воды. Для ремонтных предприятий серийно выпускаются такие РЭСы, как АМ-15 и РИТМ. АМ-15 приготовлено на основе ксилола как растворителя, алиларинового масла как соразработителя и ПАВ марки ОС-20, а РИТМ — на основе хлорированных углеводородов типа трихлорэтилена с добавками ПАВ марки ДС-10. Технология очистки деталей от загрязнений в РЭСах состоит в следующем: при погружении деталей в РЭС достигается эффект очистки за счет растворения, затем детали подвергаются воздействию технологической среды на основе СМС, где происходит эмульгирование остатков РЭС и загрязнений и переход их в раствор, что обеспечивает необходимое качество очистки. Как правило, РЭС применяются при очистке деталей от углеродистых отложений, прочно связанных с очищаемой поверхностью. Практика показывает, что при очистке от углеродистых загрязнений РЭС в 5...15 раз эффективнее растворов СМС.

Вследствие повышенной опасности при применении РЭС очистку ведут в герметизированных машинах погружного типа с соблюдением особых мер безопасности.

#### 16.4.2. Методы очистки

Наибольшее распространение в практике ремонтных предприятий получили механические и физические методы очистки. Механические методы основаны на удалении загрязнений за счет приложения к ним нормальных и тангенциальных сил воздействия. Механические методы подразделяются на гидродинамические, пневмодинамические и методы, осуществляемые путем воздействия твердых тел на очищаемую поверхность.

*Гидродинамические методы* осуществляются за счет таких приемов, как обработка струей жидкости под различным давлением, перемещение объектов очистки в объеме технологической жидкости, обработка направленными потоками жидкости и электрогидравлическим ударом. На авторемонтных заводах широкое распространение получили многокамерные моечные машины различных типов.

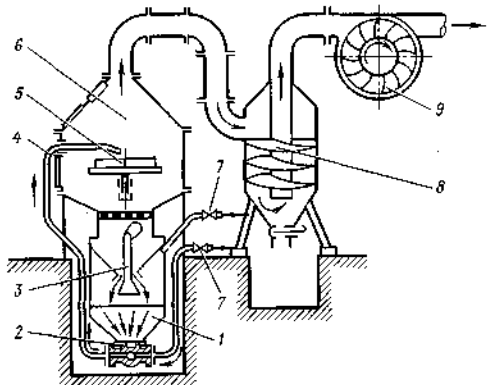


Рис. 16.6. Установка для очистки деталей косточковой крошкой:

1 — бункер; 2 — смеситель; 3 — клапан; 4 — шланг подачи крошки; 5 — стол; 6 — рабочая камера; 7 — краны подачи сжатого воздуха; 8 — циклон; 9 — вентилятор

*Механические методы очистки*, осуществляемые за счет воздействия твердых тел на очищаемую поверхность, в свою очередь разделяются на методы, основанные на своеобразном резании загрязнений твердым инструментом (при этом реализуются схемы механообработки: точение, фрезерование, строгание, шлифование и др.), а также методы, основанные на ударном воздействии твердых тел на объекты очистки. Ко второй группе методов может быть отнесена очистка в пневмо- и гидроструйных установках, где в качестве рабочего инструмента используется песок, дробь, косточковая крошка, аморфное стекло, стеклянные шарики и др. Суть этих методов заключается в использовании струи воздуха или жидкости в качестве энергоносителя рабочего инструмента — абразива.

Примером таких методов обработки может служить *очистка косточковой крошкой*. Метод получил свое название в связи с использованием в качестве абразива мелкоизмельченной скорлупы ягодных косточек (слив, абрикосов и др.). Подаваемая сжатым воздухом под давлением 0,3...0,5 МПа косточковая крошка с большой скоростью выбрасывается из сопла и, ударяясь о поверхность детали, удаляет находящееся на ней загрязнение. Важное преимущество рассматриваемого метода перед другими пневмоструйными методами состоит в том, что косточковая крошка безвредна для организма и, обладая меньшей твердостью, чем, например, песок, совершенно не царапает поверхность очищаемых деталей, в том числе деталей из алюминиевых сплавов.

При очистке деталей косточковая крошка из бункера 1 (рис. 16.6) поступает в смеситель 2 и с воздухом выбрасывается из шланга 4 на поверхность очищаемых деталей, которые размещаются на поворотном столе 5.

Образующаяся в процессе очистки пыль и удаленные частицы загряз-

нений отсасываются вытяжным вентилятором 9 через циклон 8, а косточковая крошка проваливается через решетку в бункер для повторного использования. В соответствии с техническими условиями размер частиц крошки должен быть 2...4 мм.

К механическим способам очистки, основанным на ударном воздействии твердых тел, относится очистка в галтовочных барабанах и виброабразивных установках.

*Очистка в галтовочных барабанах* заключается в том, что объекты очистки вместе с абразивными частицами (фарфоровая крошка, остатки абразивных кругов и т. п.) загружаются во вращающийся барабан (см. рис. 16.4). От загрязнений детали очищаются благодаря взаимному трению их между собой и абразивным наполнителем. Как правило, наряду с абразивными частицами в барабаны подают водно-щелочные растворы или органические растворители. Обычно барабаны погружают в ванны с соответствующими моющими реагентами, которые проникают во внутреннюю полость барабана через его перфорированную поверхность. В барабанах очищают, как правило, мелкие детали, которые вместе с абразивным наполнителем занимают 70...80 % объема барабана. Зернистость абразива выбирают в зависимости от состояния очищаемых деталей. Размеры частиц выбирают из условий исключения закупорки отверстий и полостей деталей абразивом.

*Очистка деталей в виброабразивных установках* по физическому смыслу близка к очистке в галтовочных барабанах, так как в обоих процессах используют относительное движение деталей в моющей среде с абразивным наполнителем. Сущность этого метода заключается в том, что очищаемые детали и гранулированный абразив помещают в контейнер, которому сообщают гармонические колебания заданной амплитуды и частоты. Под действием вибрации детали и абразивная среда

перемещаются относительно друг друга. При их взаимном перемещении происходит удаление загрязнений с поверхности очищаемых деталей. Вибрирующий контейнер с деталями погружается в ванну с активным моющим раствором или через него пропускают моющий раствор, который способствует удалению загрязнений с поверхности деталей, предохраняет поверхность абразивного наполнителя от засаливания и снижает интенсивность удара абразивных зерен о детали и их друг с другом. Виброабразивные установки применяются для очистки детали от загрязнений, снятия заусенцев, ржавчины и окалины.

*Физико-химические методы очистки* основаны на удалении или преобразовании загрязнений за счет молекулярных превращений, растворения, образования суспензий и эмульсий, затрат тепловой энергии, радиационного облучения и других физико-химических процессов. Одним из перспективных методов физико-химической очистки является *ультразвуковой*, заключающийся в воздействии на моющую жидкость колебаний ультразвукового диапазона частот (от чего и название). Ультразвуковая очистка — сложный физико-химический процесс, основанный на использовании ряда эффектов, возникающих в жидкой среде. Первичными эффектами принято считать эффекты механической природы — кавитацию, переменное звуковое давление, радиационное давление, акустические потоки. Первичные эффекты вызывают ряд вторичных: нагрев, диспергирование, коагуляцию, окисление, ускорение химических реакций и ряд других. Наибольшее влияние на процесс очистки оказывают кавитация, акустические течения, химическая активность технологической среды.

При кавитации локальное давление от схлопывания пузырьков достигает 10 МПа. Давление такой силы влечет за собой механическое разрушение (эрозию) близлежащих

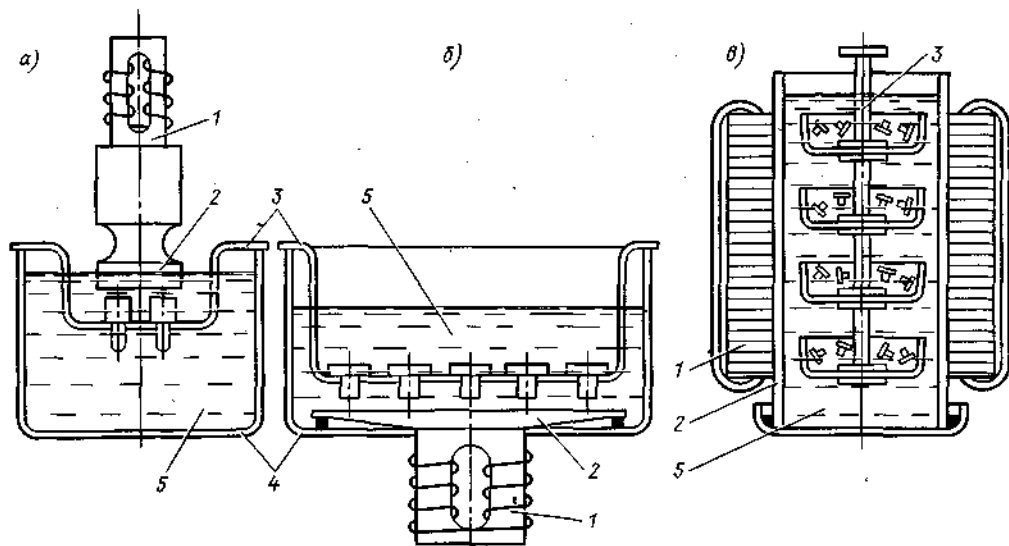


Рис. 16.7. Схемы ультразвуковых установок:

1 — источник ультразвуковых колебаний; 2 — излучатель; 3 — кассета с деталями; 4 — ванна; 5 — технологическая жидкость

поверхностей и сообщает значительное ускорение частицам, взвешенным в жидкости. Несмотря на небольшие размеры кавитационных пузырьков, достигающих в полупериод растяжения от нескольких до 100 мкм, для ультразвуковой очистки характерна высокая интенсивность удаления загрязнений, что объясняется высоким содержанием кавитационных пузырьков в единице объема «озвучиваемой» технологической жидкости (от 100 до 1000 пузырьков на 1 л) и высокой частотой их схлопывания или пульсаций — 18...22 тыс. раз в секунду.

Акустические течения, возникающие в ультразвуковом поле, оказывают большое влияние на процесс отделения и эвакуации загрязнений. При возбуждении колебаний в жидкости вследствие поглощения ультразвуковой энергии создаются высокие градиенты плотности энергии, что влечет за собой появление общих и местных гидродинамических потоков и течений.

Степень эрозионной активности жидкости, подвергаемой

воздействию ультразвуковых колебаний, а также интенсивность, направление и масштаб акустических течений определяются типом ультразвуковой колебательной системы (УЗКС) и удельной акустической мощностью  $W_a$ , передаваемой в технологическую жидкость.

В практике машиностроительных и ремонтных предприятий нашли применение (рис. 16.7) установки со стержневыми колебательными системами (рис. 16.7, а), установки типа УЗВ с источником ультразвуковых колебаний в виде согласующих изгибно-колеблющихся пластин (рис. 16.7, б) и установки, использующие в качестве источника ультразвука цилиндрические (кольцевые) колебательные системы типа ЦМС-8 и ЦМС-18 (рис. 16.7, в).

В качестве источника ультразвуковых колебаний используются магнитострикционные или пьезоэлектрические преобразователи. Первые основаны на эффекте магнитострикции — способности активных материалов изменять свои линейные размеры под воздействием перемен-



ного магнитного поля, вторые — на электрострикционном эффекте — способности материалов под действием электрического поля менять свои линейные размеры. Преобразователи припаиваются (в случае со стержневой колебательной системой и изгибно-колеблющейся пластиной) или механически крепятся с натягом (кольцевой преобразователь) к излучателю.

Удельная акустическая мощность

$$W_a = N_3 \eta_a / S,$$

где  $N_3$  — электрическая мощность, потребляемая преобразователем;  $\eta_a$  — электроакустический КПД, характеризующий потери при преобразовании электрической энергии в механическую и механической в акустическую;  $S$  — площадь излучателя.

Продолжительность процесса и качество ультразвуковой очистки определяются видом удаляемого загрязнения, конструктивными особенностями очищаемых деталей и технологическими режимами: амплитудой колебаний излучателя, температурой моющей жидкости и концентрацией моющих средств в водном растворе. При этом наибольшее влияние на процесс очистки оказывает амплитуда колебаний, в свою очередь определяющая удельную акустическую мощность.

При ультразвуковой очистке деталей от технологических загрязнений, например от притирочных паст, продолжительность процесса  $t$  находится в обратно пропорциональной зависимости от амплитуды колебаний  $A$ , т. е.

$$t = K/A^n,$$

где  $K$  — некоторый коэффициент пропорциональности;  $n = 1 \dots 2$  (зависит от конструктивных особенностей очищаемых деталей).

При очистке от эксплуатационных загрязнений зависимость  $t$  от  $L$  носит экстремальный характер и оптимальная величина  $A$  в зависимости от высоты очищаемых деталей равна 10...15 мкм.

Несмотря на видимые достоинства и преимущества перед другими спо-

собами очистки, ультразвуковой метод пока нашел ограниченное применение на ремонтных предприятиях. Однако он с успехом применяется при очистке деталей топливной и гидравлической аппаратуры.

### 16.4.3. Удаление накипи

Удаление накипи из деталей двигателя — один из сложных технологических процессов, применяемых на АРП. Чаще всего для этих целей применяют водные растворы соляной кислоты или контакт Петрова. В случае использования соляной кислоты необходимо в раствор вводить ингибиторы коррозии. При этом очистка производится двумя методами; прокачкой (циркуляцией) и погружением. Метод погружения более простой и заключается в следующем. Детали, подлежащие очистке, погружаются в специальную ванну с нагретым до 40...60 °С раствором 10...15 %-ной соляной кислоты и выдерживают в течение 20...30 мин. Затем детали ополаскивают проточной водой и погружают в щелочную ванну (10 г/л кальцинированной соды и 3,5 г/л нитрида натрия) для нейтрализации остатков кислоты и пассивации поверхности. Температура щелочного раствора 60...70 °С, время обработки 5..7 мин.

Для ускорения процессов удаления накипи из рубашек охлаждения используют прокачку (циркуляцию). Очистка производится в две стадии: промывка кислотным раствором и ополаскивание (нейтрализация) щелочным пассивирующим раствором. Однако для циркуляционных способов очистки требуется более сложное оборудование, выполненное из кислотостойких материалов. Так, для удаления накипи из блоков цилиндров 15 %-ным раствором соляной кислоты используют установки, оборудованные виннипластовой ванной, фарфоровым насосом типа УКН, полистироловыми трубопроводами и штуцерами из органического стекла:

При этом накипь удаляется в течение 3...10 мин при давлении в магистрали 0,1 МПа.

Накипь с поверхности алюминиевых деталей рекомендуется удалять водным раствором фосфорной кислоты (100 г/л) и хромового ангидрида (50 г/л) при 60...70 °С.

#### 16.4.4. Очистка производственных стоков от загрязнений

Решение комплекса вопросов, связанных с природоохранными мероприятиями на АРП, в первую очередь требует решения проблем по очистке сточных вод от загрязнений. Предприятия эти расходуют от 25...35 м<sup>3</sup> воды на один капитальный ремонт автомобиля.

При выполнении технологических операций по очистке сточные воды производственной канализации загрязняются вредными веществами, продуктами коррозии, нефтепродуктами, отработанными очищающими средствами и т. п. Основными загрязнителями сточных вод являются нефтепродукты и взвешенные частицы. Для удаления нефтепродуктов и вредных веществ из сточных вод на ремонтных предприятиях ис-

пользуются в настоящее время технические несовременные очистные сооружения, построенные по принципу механического отстаивания или по методу флотационной очистки. Метод флотационной очистки основан на прилипанию частиц нефти или других загрязнений к пузырькам воздуха, которыми искусственно насыщаются сточные воды, и всплывании образующегося комплекса. Очистка таким методом требует реагентной обработки воды с применением коагулянта (сернокислого алюминия или сернокислого железа).

В последнее время на ремонтных предприятиях создаются системы вторичного и оборотного водоснабжения, получивших название замкнутых систем водопользования. Основой для выбора схем и проектирования оборудования систем водоснабжения является анализ состава и свойств загрязнений ремонтируемой техники, способов и оборудования очистки стоков и регенерации растворов, а также устройств очистки, применяемых на АРП.

Наибольшее распространение нашли очистные сооружения, выполняемые по типовым проектам, разработанным Гипроавтотрансом, а также Мосводоканалниипроектom.

## Глава 17

### ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ

#### 17.1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ДЕФЕКТАЦИИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Детали автомобиля после очистки от загрязнений в соответствии с технологическим процессом подвергаются дефектации (дефектовке), т. е. оценке технического состояния с целью обнаружения *дефектов* (неисправностей). Под дефектами детали понимают всякие отклонения ее параметров от значений, установленных в нормативно-технической документации (НТД). В авторемонтном производстве все дефекты деталей

классифицируются на группы по причинам возникновения, степени влияния на работоспособность детали, возможности устранения, отражению в НТД, месту расположения и т. д.

По причинам возникновения дефекты подразделяются на конструкционные, производственные, эксплуатационные и возникающие при хранении и транспортировке. *Конструкционные дефекты* — это дефекты, возникающие вследствие несовершенства конструкции или нарушения требований технических условий и установленных норм на проектиро-

Форма 17.1. Карта технических условий на дефектацию деталей

№ дефекта по эскизу	Возможные дефекты	Способ установления дефекта и контрольный инструмент	Размер, мм		Заключение								
			по рабочему чертежу	допустимый без ремонта									
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p style="text-align: center;">Эскиз детали</p> </div> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Деталь</td> <td>Крышка подшипника ведущего вала коробки передач</td> </tr> <tr> <td>№ детали</td> <td>53-1701040</td> </tr> <tr> <td>Материал</td> <td>Чугун серый СЧ/18-36</td> </tr> <tr> <td>Твердость</td> <td>НВ 170...229</td> </tr> </table> </div>						Деталь	Крышка подшипника ведущего вала коробки передач	№ детали	53-1701040	Материал	Чугун серый СЧ/18-36	Твердость	НВ 170...229
Деталь	Крышка подшипника ведущего вала коробки передач												
№ детали	53-1701040												
Материал	Чугун серый СЧ/18-36												
Твердость	НВ 170...229												
1	Обломы и трещины на крышке	Осмотр	—	—	Браковать								
2	Износ шейки под муфту включения сцепления	Скоба 43,8	$44 -^{0,075}_{-0,115}$	43,80	Ремонтировать — железнение или вибродуговая наплавка								
3	Износ отверстий под болты	Пробка 9,2	8,5	9,2	Ремонтировать — заварка								
4	Износ отверстий с маслосгонной резьбой	» 35,65	$35,18 +^{0,1}$	35,65	Браковать								
5	Износ фланца по наружному диаметру	Скоба 115,90 или микрометр	$116 -^{0,01}_{-0,05}$	115,90	Ремонтировать — вибродуговая наплавка								

вание изделия. Причинами таких дефектов может быть неправильный выбор материала детали, термической обработки, ошибки при определении размеров и т. п. *Производственные дефекты* возникают вследствие нарушения технологии изготовления или ремонта деталей. *Эксплуатационные дефекты* возникают в результате изнашивания, усталости, коррозии, эрозии деталей, а также при нарушении правил эксплуатации автомобилей. *Дефекты, возникающие при хранении и транспортировке*, являются следствием различных нарушений технологии хранения деталей (консервация, упаковка) и условий их перевозки.

При дефектации и сортировке деталей руководствуются техническими условиями, которые содержатся в руководствах по капитальному ремонту автомобилей и их составных частей. Технические условия на дефектацию деталей составляются в виде карт (форма 17.1), которые по каждой детали в отдельности

содержат следующие сведения: общие данные по детали; перечень возможных ее дефектов; способы выявления дефектов; допустимые без ремонта размеры, погрешности формы и взаимного расположения поверхностей на детали; рекомендуемые способы устранения дефектов.

Общие данные по детали включают: эскиз детали с указанием мест расположения дефектов, основные размеры детали, материал и твердость основных поверхностей. Все эти сведения о детали могут быть получены из рабочего чертежа.

## 17.2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДЕФЕКТАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СТРУКТУРНОГО СОСТАВА ДЕТАЛЕЙ

### 17.2.1. Общие положения

Выявление дефектов в автомобильных деталях производится с помощью технических средств контроля. В зависимости от вида дефекта,

места его расположения применяют технические средства различной сложности. Несоответствие геометрических параметров деталей (их размеров, форм, взаимного расположения поверхностей) проверяется с помощью измерительных инструментов и приборов с необходимой для каждого конкретного случая точностью.

Для выявления трещин, несплошностей, раковин используются методы неразрушающего контроля, например магнитные, электромагнитные, акустические и т. д. При выборе средств дефектации необходимо использовать наиболее эффективные для конкретных условий средства, регламентированные государственными, отраслевыми, заводскими стандартами.

В деталях автомобилей в процессе эксплуатации возникает большое количество дефектов. Все разнообразие этих дефектов с точки зрения применяемых методов обнаружения можно разбить на следующие группы:

механические повреждения — поломки, трещины, отколы, пробоины и т. п.;

коррозионные повреждения — окисные пленки, раковины, сыпь и т. п.;

изменение геометрических размеров и формы рабочих поверхностей — овальность, конусо-, седло-, бочкообразность, риски, задиры и т. п.;

нарушение точности взаимного расположения рабочих поверхностей и осей деталей — неперпендикулярность осей и поверхностей, изменение межцентрового расстояния, непараллельность осей и поверхностей, неплоскостность;

скрытые (невидимые) дефекты — микроскопические поверхностные трещины, внутренние пороки в материале деталей (раковины, поры);

изменение физико-механических свойств материала деталей — нарушение твердости и упругих свойств деталей (пружин, рессор, торсио-

нов). Твердость поверхности контролируется универсальными приборами для измерения твердости.

В настоящее время установлены обязательные показатели процесса дефектации: точность измерений, достоверность, трудоемкость, стоимость.

### **17.2.2. Контроль взаимного расположения рабочих поверхностей**

Методы контроля погрешностей взаимного расположения рабочих поверхностей рассмотрим на примере деталей класса валов и корпусных деталей. На валах наиболее часто контролируют несоосность шеек и неперпендикулярность фланцев к оси вала.

*Несоосность шеек валов* контролируют замером их радиального биения с помощью индикатора в центрах (рис. 17.1). Радиальное биение шеек определяется как разность наибольшего и наименьшего показаний индикатора за один оборот вала. *Неперпендикулярность фланца к оси вала* контролируют также при установке вала в центрах (рис. 17.2): при помощи индикатора замеряют торцовое биение фланца на определенном радиусе  $R$ .

В корпусных деталях контролируют следующие погрешности взаимного расположения поверхностей: несоосность отверстий, непараллельность оси отверстий относительно плоскости, непараллельность осей отверстий и нарушение межцентрового расстояния, неперпендикулярность осей отверстий, неперпендикулярность оси отверстия к плоскости.

*Несоосность отверстий* в корпусных деталях контролируют с помощью оптических, пневматических и индикаторных приспособлений. Наибольшее применение в авторемонтном производстве нашли индикаторные приспособления. Схема замера несоосности отверстий под коренные



Рис. 17.1. Контроль несоосности шеек вала

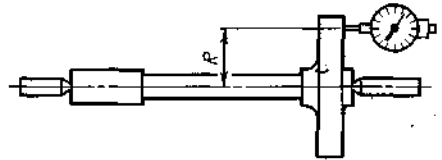


Рис. 17.2. Контроль неперпендикулярности фланца к оси вала

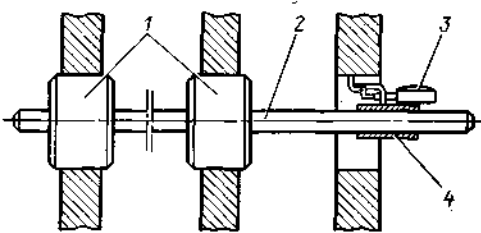


Рис. 17.3. Контроль несоосности отверстий

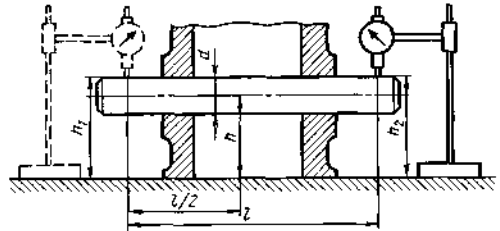


Рис. 17.4. Контроль непараллельности оси отверстий к плоскости

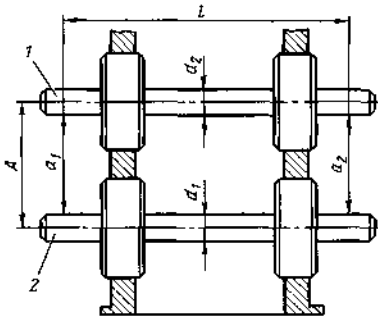


Рис. 17.5. Контроль межосевого расстояния и непараллельности осей отверстий

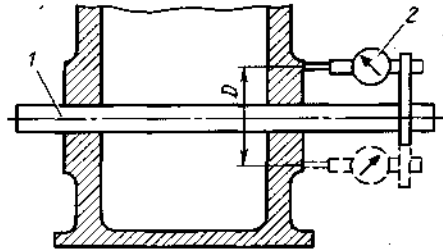


Рис. 17.6. Контроль неперпендикулярности оси отверстий к плоскости

подшипники коленчатого вала в блоке цилиндров при помощи индикаторного приспособления показана на рис. 17.3. Приспособление состоит из контрольной скалки 2, втулок 1 и индикатора часового типа 3. При проверке несоосности вращают втулку 4 с индикатором и замеряют радиальное биение, которое показывает удвоенную несоосность (смещение осей). Несоосность отверстий контролируют в блоках цилиндров двигателей, картерах коробок передач, картерах редукторов и других деталях.

*Непараллельность оси отверстий относительно плоскости* контролируют на плите измерения путем измерения размеров  $h_1$  и  $h_2$  на длине  $l$  (рис. 17.4). Разность этих размеров покажет непараллельность оси отверстий и плоскости.

При этом может быть проверено также расстояние  $h$  от оси отверстий до плоскости:  $h = (h_1 + h_2) / 2 - d / 2$ .

*Межосевое расстояние и непараллельность осей отверстий* контролируют путем измерения расстояний  $a_1$  и  $a_2$  (рис. 17.5) между внутренними образующими контрольных

оправок / и 2 при помощи штихмасса или индикаторного нутромера. Межосевое расстояние  $L = 0,5(a_1 + a_2 + d_1 + d_2)$ .

Непараллельность осей отверстий определяют как разность  $a_1 - a_2$  на длине /.

*Неперпендикулярность оси отверстий к плоскости* можно проверить при помощи индикаторного приспособления (рис. 17.6). Неperпендикулярность оси отверстия к торцовой плоскости на диаметре  $D$  определяют как разность показаний индикатора 2 при вращении его относительно оси отверстия на оправке 1.

### 17.2.3. Контроль скрытых дефектов

При контроле деталей очень важно проверять их на наличие скрытых дефектов (поверхностных и внутренних микротрещин). Этот контроль особенно необходим для; деталей, от которых зависит безопасность движения автомобиля. Существует большое число различных методов обнаружения скрытых дефектов на деталях. На АРП нашли применение методы опрессовки, красок, люминесцентный, магнитный, ультразвуковой.

**Метод опрессовки** применяют для обнаружения скрытых дефектов в полых деталях. Опрессовку деталей производят водой (гидравлический метод) и сжатым воздухом (пневматический метод).

Метод гидравлического испытания применяют для выявления трещин в корпусных деталях (блок цилиндров, головка блока цилиндров и др.). Испытание производится на специальных стендах, которые обеспечивают герметизацию всех отверстий в контролируемых деталях. При испытании полости детали заполняют горячей водой под давлением 0,3... 0,4 МПа. О наличии трещин судят по потокам воды.

Метод пневматического испытания применяют при контроле на герметичность таких деталей, как радиаторы, баки, трубопроводы и др.

Полость деталей в этом случае заполняют сжатым воздухом под давлением, соответствующим механическим условиям на испытание и затем погружают в ванну с водой. Выходящие из трещины пузырьки воздуха укажут место нахождения дефектов.

**Метод красок** основан на свойстве жидких красок к взаимной диффузии. При этом методе на контролируемую поверхность детали, предварительно обезжиренную растворителем, наносят красную краску, разведенную керосином. Краска проникает в трещины. Затем красную краску смывают растворителем и поверхность детали покрывают белой краской. Через несколько секунд на белом фоне проявляющей краски появляется рисунок трещины, увеличенный по ширине в несколько раз. Этот метод позволяет обнаруживать трещины шириной не менее 20 мкм.

**Люминесцентный метод** основан на свойстве некоторых веществ светиться при облучении их ультрафиолетовыми лучами. При контроле детали этим методом ее сначала погружают в ванну с флуоресцирующей жидкостью, в качестве которой применяют смесь, состоящую из 50 % керосина, 25 % бензина и 25 % трансформаторного масла с добавкой флуоресцирующего красителя (дефектоля) или эмульгатора ОП-7 в количестве 3 кг на 1 м<sup>3</sup> смеси. Затем деталь промывают водой, просушивают струей теплого воздуха и припудривают порошком силикагеля. Силикагель вытягивает флуоресцирующую жидкость из трещины на поверхность детали. При облучении детали ультрафиолетовыми лучами порошок силикагеля, пропитанный флуоресцирующей жидкостью, будет ярко светиться, обнаруживая границы трещины.

Контроль деталей этим методом производят на специальном люминесцентном дефектоскопе, схема которого показана на рис. 17.7. Люминесцентные дефектоскопы применяют при обнаружении трещин шириной более 10 мкм в деталях,

изготовленных из магнитных материалов.

**Метод магнитной дефектоскопии** нашел наиболее широкое применение при контроле скрытых дефектов в деталях, изготовленных из ферромагнитных материалов (сталь, чугун). Для обнаружения дефектов этим методом деталь сначала намагничивают. Магнитные силовые линии, проходя через деталь и встречая на своем пути дефект, например трещину, огибают его как препятствие с малой магнитной проницаемостью (рис. 17.8). Над дефектом образуется поле рассеивания магнитных силовых линий, а на краях трещины — магнитные полюсы.

Для того чтобы обнаружить неоднородность магнитного поля, деталь обливают суспензией, состоящей из 50 %-ного раствора керосина и трансформаторного масла, в котором во взвешенном состоянии находится мельчайший магнитный порошок (окись железа — магнетит). При этом магнитный порошок будет притягиваться краями трещины и четко обрисует ее границы.

Намагничивают детали на магнитных дефектоскопах, которые различают по способу намагничивания. Для выявления в деталях продольных трещин применяют дефектоскопы циркулярного намагничивания, а для поперечных — дефектоскопы продольного намагничивания внешним полем. Для обнаружения трещин любого направления используют дефектоскопы комбинированного намагничивания. В дефектоскопах циркулярного намагничивания магнитное поле создается за счет прохождения через деталь переменного тока большой силы (1000...4000 А). На рис. 17.9 показана схема дефектоскопа циркулярного намагничивания, предназначенного для контроля деталей небольших размеров.

В дефектоскопах продольного намагничивания магнитное поле создается за счет помещения детали в соленоид, питаемый постоянным или переменным током (рис. 17.10).

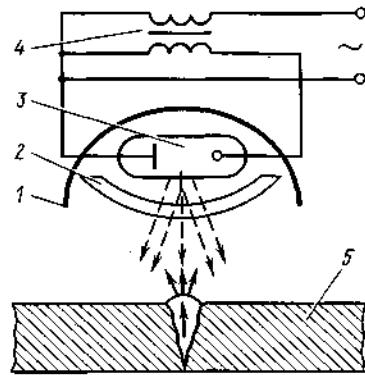


Рис. 17.7. Схема люминесцентного дефектоскопа:

1 — рефлектор; 2 — светофильтр; 3 — ртутно-кварцевая лампа; 4 — высоковольтный трансформатор; 5 — деталь

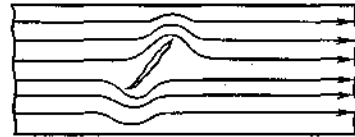


Рис. 17.8. Расположение магнитных силовых линий в детали с дефектом

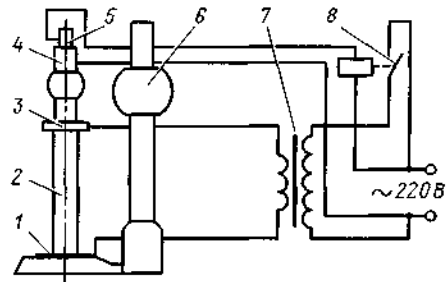


Рис. 17.9. Дефектоскоп циркулярного намагничивания:

1 — медная плита; 2 — контролируемая часть; 3 — контактный диск; 4 — выключатель; 5 — кнопка; 6 — кронштейн; 7 — понижающий трансформатор; 8 — магнитный пускатель

Дефектоскопы комбинированного намагничивания являются универсальными, так как они совмещают в себе принципы циркулярного и продольного намагничивания и, следовательно, позволяют обнаружить трещины любых направлений.

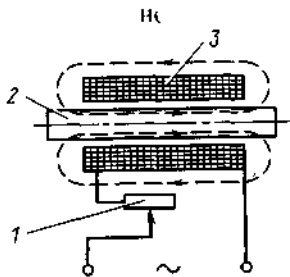


Рис. 17.10. Схема дефектоскопа продольного намагничивания:

1— резистор; 2— контролируемая деталь; 3— соленоид

После контроля на магнитных дефектоскопах детали необходимо размагнитить. Это достигается при переменном токе путем медленного вывода детали из соленоида, а при постоянном токе за счет изменения полярности при постепенном уменьшении силы тока.

• Метод магнитной дефектоскопии обладает высокой производительностью и позволяет обнаруживать трещины шириной до 1 мкм.

**Ультразвуковой метод** основан на свойстве ультразвука проходить через металлические изделия и отражаться от границы двух сред, в том числе и от дефекта.

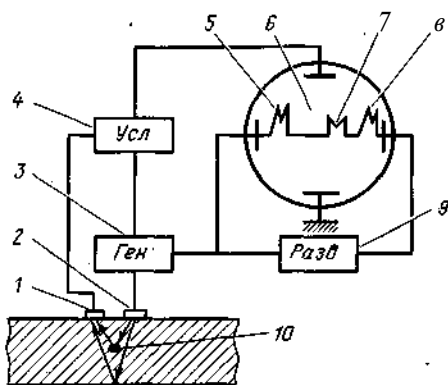


Рис. 17.11. Схема импульсного ультразвукового дефектоскопа:

1— приемник ультразвука; 2— излучатель; 3— генератор импульсов; 4— усилитель; 5— излученный импульс; 6— электронно-лучевая трубка; 7— импульс, отраженный от дефекта; 8— донный импульс; 9— блок развертки; 10— дефект в детали

В зависимости от способа приема сигнала от дефекта различают два метода ультразвуковой дефектоскопии: метод просвечивания и импульсный.

Метод просвечивания основан на появлении звуковой тени за дефектом. В этом случае излучатель ультразвуковых колебаний находится по одну сторону от дефекта, а приемник — по другую, что не всегда удобно, поэтому наибольшее применение нашел метод ультразвуковой локации (импульсный). В этом случае нет необходимости иметь пьезоэлектрический излучатель и приемник ультразвука. Вслед за посылкой импульса излучатель автоматически переключается в режим приема отраженных сигналов.

В качестве излучателя (приемника) ультразвуковых колебаний используют пьезоэлектрические преобразователи с пластинками из титаната бария, у которых пьезоэлектрический эффект почти в 500 раз выше, чем у кварца.

На рис. 17.11 приведена структурная схема импульсного ультразвукового дефектоскопа. При контроле детали и ее поверхности подводят излучатель, который питается от генератора ультразвуковых колебаний. Если дефекта в детали нет, то ультразвуковые колебания, отразившись от противоположной стороны детали, возвратятся обратно и возбуждают электрический сигнал в приемнике. При этом на экране электронно-лучевой трубки будут видны два всплеска: слева — излученный импульс, справа — отраженный от противоположной стороны детали (донный). Если в детали имеется дефект, то ультразвуковые колебания отразятся от дефекта и на экране трубки появится промежуточный всплеск.

Путем сопоставления расстояний между импульсами на экране электронно-лучевой трубки и размеров детали можно определить не только местонахождение дефекта, но и глубину его залегания.



Метод ультразвуковой дефектоскопии обладает очень высокой чувствительностью и применяется при обнаружении внутренних дефектов в деталях (трещин, раковин, шлаковых включений и т. п.).

В авторемонтном производстве нашли применение ультразвуковые дефектоскопы ДУК-66ПМ, УД-10УА и др.

Дефектоскоп УД-10УА работает на частотах 0,8 МГц. Максимальная глубина прозвучивания для стальных деталей 2,6 м, минимальная — 7 мм.

#### 17.2.4. Контроль размеров и формы рабочих поверхностей деталей

Наибольшее внимание при контроле и сортировке деталей уделяется определению геометрических размеров и формы их рабочих поверхностей. Контроль деталей по этим параметрам позволяет оценить величину их износа и решить вопрос о возможности их дальнейшего использования. При контроле размеров деталей в авторемонтном производстве используют как универсальный измерительный инструмент, так и пневматические методы контроля. К универсальному измерительному инструменту относятся микрометры, штангенциркули, индикаторные нутромеры, микрометрические стихмасы и др.

Широкое применение в последнее время получил также пневматический метод контроля размеров деталей. Этот метод измерения бесконтактный, поэтому точность измерения не зависит от износа инструмента. Пневматический метод используется при измерении наружных и внутренних размеров. Принцип работы пневматического прибора для измерения диаметра отверстий показан на рис. 17.12. Сжатый воздух под давлением 0,3...0,5 МПа поступает через влагоотделитель 2 и двухступенчатый стабилизатор 1 давления в стеклянную конусную трубку 6 и

далее через шланг 8 к пневматическому калибру 9 с отверстиями для выхода воздуха. Внутри конусной трубки 6 помещается металлический поплавок 5, который силой воздушного потока устанавливается на определенном уровне.

Положение поплавка внутри конусной трубки 6 зависит от расхода сжатого воздуха, который определяется зазором между измеряемой деталью и калибром 9. Если зазор между калибром и деталью большой, то расход воздуха будет увеличиваться и поплавок поднимается на более высокий уровень. Следовательно, по положению поплавка и шкале 3 можно определить размер детали. Точность показаний прибора регулируют при помощи крана 4, который изменяет расход воздуха через трубку 7, а также путем подбора поплавка по массе.

Пневматические измерительные приборы можно использовать для измерения деталей диаметром от 5...6 мм и более с точностью до 0,001 мм. Этим методом можно измерять также погрешности формы детали по многим параметрам одновременно. Пневматический метод контроля позволяет легко автоматизировать процесс измерения деталей,

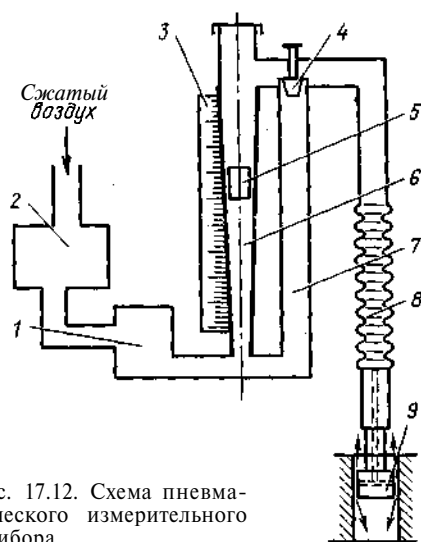


Рис. 17.12. Схема пневматического измерительного прибора

поэтому его следует считать перспективным.

Погрешности в геометрической форме деталей определяют путем их измерения в нескольких направлениях в поперечном сечении и нескольких поясах по длине. Сопоставляя эти замеры, находят овальность, конусообразность и другие отклонения.

### 17.2.5. Коэффициенты структурного состава ремонтного фонда

Структурный состав ремонтного фонда по деталям данного наименования определяется тремя коэффициентами: годности, сменности и ремонта.

*Коэффициент годности*  $K_g$  показывает, какая часть деталей данного наименования может быть использована при ремонте автомобиля (аг-

регата) повторно без ремонтного воздействия:

$$K_g = n_r/n_o,$$

где «г» — число годных деталей;  $n_o$  — общее число деталей данного наименования, прошедших дефектацию.

Коэффициент сменности показывает, какая часть деталей данного наименования при ремонте автомобиля требует замены:

$$K_c = n_n/n_o,$$

где  $n_n$  — число негодных деталей.

Коэффициент ремонта показывает, какая часть деталей данного наименования требует ремонта:

$$K_{\text{рем}} = n_{\text{рем}}/n_o,$$

где  $n_{\text{рем}}$  — число деталей, требующих ремонта.

Знание этих коэффициентов позволяет более точно планировать потребность ремонтного предприятия в запасных частях и определять объем работ по ремонту деталей.

## Глава 18

### СПОСОБЫ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ

#### 18.1. ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ

Устранение дефектов при этом способе ремонта деталей основано на использовании пластических свойств металла, из которого они изготовлены. Под *пластичностью* металлов понимают их способность при определенных условиях под действием нагрузок изменять форму и размеры без разрушения. Пластическую деформацию деталей производят как в холодном, так и в горячем состоянии в специальных приспособлениях на прессах. Пластическое деформирование применяют при восстановлении размеров деталей, их формы и механических свойств.

**Восстановление размеров изношенных деталей.** При ремонте пластическим деформированием восстановление размеров достигается за счет перераспределения металла с

нерабочих элементов деталей на изношенные. Процесс восстановления размеров деталей состоит из подготовки детали, деформирования и обработки после деформирования.

Подготовка деталей к деформированию включает отжиг или высокий отпуск обрабатываемых поверхностей перед холодным деформированием или нагрев их перед горячим деформированием. Стальные детали с твердостью до  $HRC_{30}$ , а также детали из цветных металлов подвергаются деформированию в холодном состоянии без предварительной термообработки. Во всех остальных случаях производится термообработка деталей перед холодным деформированием или нагрев перед горячим деформированием.

Обработка деталей после деформации сводится к механической обработке восстанавливаемых поверхностей до требуемых размеров. При

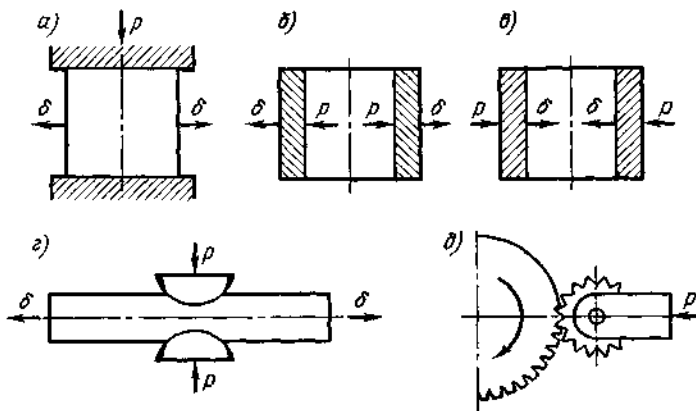


Рис. 18.1. Виды обработки, применяемые при ремонте деталей пластическим деформированием: а — осадка; б — раздача; в — обжатие; г — вытяжка; д — накатка; P — усилие; б — деформация

необходимости применяют также термическую обработку.

Пластическое деформирование деталей с целью восстановления изношенных поверхностей осуществляют осадкой, раздачей, обжатием, вытяжкой и накаткой (рис. 18.1).

Осадку применяют для уменьшения внутреннего или увеличения наружного диаметра полых деталей, а также увеличения наружного диаметра сплошных деталей за счет уменьшения их длины (см. рис. 18.1, а). Осадку втулок из цветных металлов производят в специальных приспособлениях (рис. 18.2) в холодном состоянии. Если после осадки предусмотрена механическая обработка внутренней поверхности втулки, то размер пальца, ограничивающего деформацию втулки по внутреннему диаметру, принимают на 0,3 мм меньше, чем диаметр окончательно обработанного отверстия. Уменьшение высоты втулок, воспринимающих большие нагрузки, допускается не более чем на 5...8 %, а для втулок менее нагруженных — на 10...15 %.

Осадкой восстанавливают также размеры стальных деталей — шейки валов, расположенные на концах деталей, толкатели клапанов и др. Деформацию деталей при этом производят в специальных штампах

при нагреве до температурыковки. На рис. 18.3 показано приспособление для осадки толкателя при восстановлении его цилиндрической поверхности.

Раздачей восстанавливают наружные размеры полых деталей за счет увеличения их внутренних размеров (см. рис. 18.1, б). Раздачу

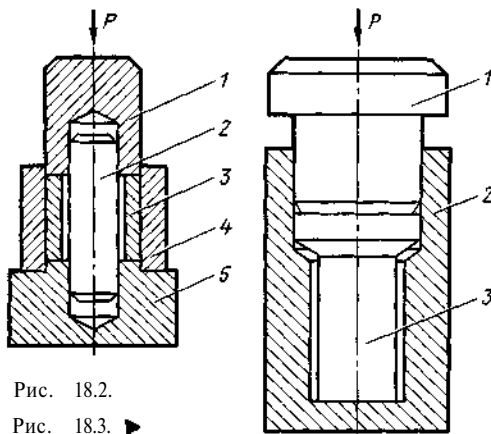


Рис. 18.2.

Рис. 18.3. ▶

Рис. 18.2. Приспособление для осадки втулок: 1— пуансон; 2— палец; 3— деталь; 4— втулка; 5— матрица

Рис. 18.3. Схема приспособления для осадки толкателей клапанов:

1— пуансон; 2— матрица; 3— ремонтируемая деталь

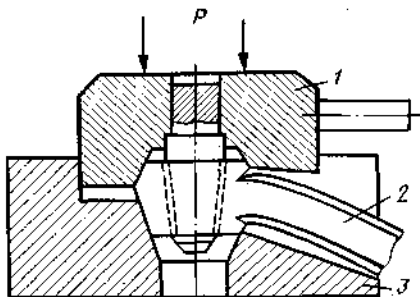


Рис. 18.4. Приспособление для обжатия конусного отверстия рулевой сошки:  
1— верхняя обжимка; 2— сошка; 3— нижняя обжимка

применяют при восстановлении наружной поверхности поршневых пальцев, посадочных поверхностей под подшипники чашек дифференциала, наружных посадочных поверхностей труб полуосей и др.

Раздачу деталей производят сферическими *прошивками* в холодном состоянии. Если деталь подвергалась закалке или цементации, то их перед раздачей подвергают отжигу или высокому отпуску, а после раздачи восстанавливают первоначальную термическую обработку.

*Обжатие* применяют для уменьшения внутреннего диаметра полых деталей за счет уменьшения их наружного диаметра (см. рис. 18.1, 0). Этим способом можно восстанавливать втулки из цветных металлов, отверстия в проушинах рулевых сошек, рычагах поворотных цапф и т. п.

При восстановлении конусного отверстия в проушине рулевой сошки ее нагревают до 900...950 °С и обжимают в горячем состоянии, используя специальное приспособление (рис. 18.4). При обжатии с нагревом металл детали изменяет свою структуру, поэтому после деформации ее подвергают повторной термической обработке. Механическая обработка отверстия производится конусной разверткой до необходимого размера.

После ремонта деталей раздачи

и обжатием их необходимо проверить на отсутствие трещин.

*Вытяжка* применяется для увеличения длины деталей за счет местного обжатия (см. рис. 18.1, з). Этим способом восстанавливают длину всевозможных тяг, толкателей и других деталей. Деформацию производят чаще всего в холодном состоянии.

*Накатка* применяется для компенсации износа наружных цилиндрических поверхностей деталей за счет выдавливания металла из восстанавливаемой поверхности (см. рис. 18.1, д). Накаткой восстанавливают посадочные поверхности цапф, валов коробок передач и других деталей.

В процессе накатки необходимо получить восстановленную поверхность с высокой несущей способностью без нарушения структуры металла при минимальном уменьшении размеров опорной поверхности. Высота подъема металла на сторону не должна превышать 0,2 мм, а уменьшение опорной поверхности — не более 50%.

Накаткой можно ремонтировать детали с твердостью не более HRC,30. Если твердость выше, то деталь подвергается отпуску. Накатку производят зубчатым роликом с шагом зубьев 1,5...1,8 мм. Режим накатки для стальных деталей с твердостью HRC,25...30 рекомендуется следующий: скорость вращения детали 15 м/мин, продольная подача 0,6 мм/об, поперечная подача 0,1 мм/об, охлаждение машинным маслом. Накатку следует применять при восстановлении поверхностей деталей, воспринимающих удельную нагрузку не более 7 МПа.

Оценивая пластическое деформирование как способ ремонта деталей, можно отметить следующие его преимущества: простоту технологического процесса и применяемого оборудования, особенно при выполнении деформирования деталей в холодном состоянии; высокую экономическую эффективность процес-

са, так как отсутствуют дополнительные расходы материалов, а трудоемкость работ небольшая. К недостаткам этого способа следует отнести ограниченность номенклатуры ремонтируемых деталей, невозможность их повторного ремонта и некоторое снижение механической прочности деталей.

### Восстановление формы деталей.

В процессе эксплуатации многие детали автомобилей теряют свою первоначальную форму вследствие деформаций от изгиба и кручения. Этот дефект деталей устраняется правкой, которая является одним из видов пластического деформирования. Правке подвергают балки передних мостов, детали рамы, коленчатые и распределительные валы, шатуны и многие другие детали.

При ремонте автомобилей применяют два способа правки: правку статическим нагружением (под прессом) и правку наклепом. Подавляющее большинство деталей правят под прессом в холодном состоянии. Для того чтобы при правке получить требуемую остаточную деформацию детали, ее перегибают в обратном направлении с прогибом, в 10...15 раз большим первоначального.

При холодной правке под прессом возникают внутренние напряжения, которые при работе деталей складываются с напряжениями от рабочих нагрузок и вызывают вторичные деформации. Для повышения стабильности правки и увеличения несущей способности деталей их подвергают после правки термической обработке.

На рис. 18.5 показано влияние температуры  $t$  нагрева деталей из стали 45 при выдержке в течение 1 ч на восстановление несущей способности  $H$  их после правки. Как видно из рис. 18.5, при нагреве детали до 400...500 °С ее несущая способность восстанавливается до 90 %. Такому нагреву можно подвергать лишь детали, термообработка которых при изготовлении выполнялась при температуре не ниже 450...500 °С. Ста-

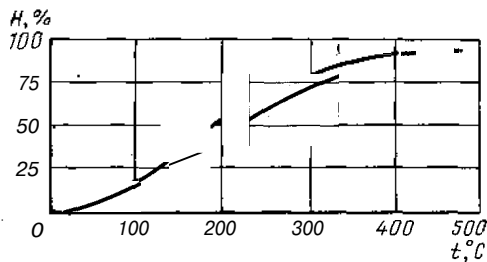


Рис. 18.5. Влияние температуры нагрева деталей после правки на восстановление их несущей способности

билизация правки деталей, подвергаемых закалке ТВЧ (коленчатые валы, распределительные валы и др.), должна производиться при температуре не выше 180...200 °С. Такая стабилизация восстанавливает несущую способность деталей только до 60...70 %. Правка под прессом снижает усталостную прочность деталей на 15...20 %.

Правка наклепом не имеет недостатков, присущих правке деталей статическим нагружением. Правку наклепом производят пневматическим молотком с закругленным бойком путем нанесения ударов по нерабочим поверхностям деталей. Так, например, правку коленчатых валов производят наклепом щек (рис. 18.6). Преимуществами правки наклепом являются стабильность правки во времени, высокая точность (до 0,02 мм), высокая производительность, отсутствие снижения усталостной прочности деталей.

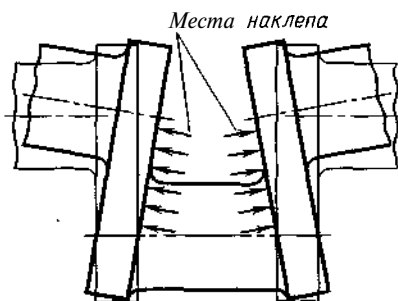


Рис. 18.6. Схема правки коленчатого вала наклепом щек

**Восстановление механических свойств материала деталей.** Многие детали автомобилей при их использовании и ремонте различными способами утрачивают свою первоначальную усталостную прочность и износостойкость. Восстановить эти свойства можно путем поверхностного пластического деформирования (наклепа) деталей. Наклеп повышает поверхностную твердость слоя металла и создает в нем благоприятные остаточные напряжения. Благодаря такой обработке повышается усталостная прочность деталей и их износостойкость.

К числу наиболее распространенных способов упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием относятся обкатка рабочих поверхностей деталей роликами и шариками, чеканка, алмазное выглаживание, дробеструйная обработка и др.

*Обкатка роликами и шариками* применяется для упрочнения наружных и внутренних поверхностей деталей. Обкатывание наружных поверхностей производится на токарных станках при помощи специального инструмента — *накатки*, которая устанавливается на суппорте станка и прижимается к детали за счет поперечной подачи. При такой обработке достигается требуемая точность размеров деталей, высокое качество обработки с шероховатостью  $Ra \leq 0,16 \dots 0,32$  мкм и повышается на 20...30 % усталостная прочность деталей.

Наиболее эффективным способом упрочнения галтелей на валах является *чеканка*. При этом методе наклеп на упрочняемых поверхностях создается при помощи бойков, приводимых в движение при помощи специальных приспособлений.

К числу весьма эффективных методов упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием относится *алмазное выглаживание*. Сущность процесса алмазного выглаживания заключается в обработке поверхностного слоя де-

тали инструментом, рабочей частью которого является сферическая поверхность кристалла алмаза с радиусом закругления 1...3 мм. Алмаз устанавливается в наконечнике, который входит в пружинную оправку, закрепленную в резцедержателе суппорта токарного станка. Режим обработки алмазным выглаживанием рекомендуется следующий: подача 0,02...0,06 мм/об, скорость выглаживания 40...100 м/мин, усилие прижима алмазного наконечника к детали 150...300 Н. Обработка ведется за один проход. Алмазное выглаживание позволяет получить  $Ra \leq 0,04 \dots 0,08$  мкм, повысить твердость на 25...30 %, износостойкость — на 40...60 % и усталостную прочность — на 30...60 %.

При восстановлении пружин, ресор, торсионных валов с целью повышения их усталостной прочности применяют *дробеструйную обработку* механическими или пневматическими *дробеметами*. В механических дробеметах дробь выбрасывается вращающимся с большой скоростью барабаном, а в пневматических — струей сжатого воздуха под давлением 0,5...0,6 МПа. При обработке деталей применяют стальную или чугунную дробь диаметром 0,5...1,5 мм. Режим обработки деталей рекомендуется следующий: скорость полета дроби 60...100 м/с, время обработки 3...10 мин. При этом режиме наклепанный слой имеет глубину до 1 мм.

## 18.2. СВАРКА И НАПЛАВКА

Для устранения дефектов деталей автомобиля используются ручная дуговая сварка, автоматическая дуговая сварка и наплавка под флюсом или в защитном газе, вибродуговая наплавка, газовая сварка и наплавка, контактная сварка и другие виды сварки и наплавки.

**Ручная дуговая сварка.** При ремонте деталей такой сваркой режим процесса зависит от толщины материала ремонтируемого изделия. Сила

тока при этом  $I = Ks$ , где  $K$  — коэффициент, зависящий от толщины свариваемого изделия;  $s$  — толщина материала. При толщине материала 1...2 мм  $K = 25...30$ , при 3...4 мм  $K = 30...45$ . Напряжение дуги  $U = 22...40$  В, диаметр электрода  $d_3 = 0,5s + (1...2)$  мм.

Ручной дуговой сваркой ремонтируются детали, изготовленные из листового материала, труб и профилей различного поперечного сечения, используемых для изготовления каркаса кузовов, рам и других элементов металлоконструкции. Чаще всего устраняют этим способом трещины, пробоины, изломы и т. п. Детали из листового материала, имеющие пробоины и другие повреждения (панели кузова и т. п.), ремонтируются установкой накладки. При этом поврежденный участок вырезают. Полученное отверстие должно быть круглое или прямоугольное с закругленными углами.

Перед сваркой деталей производят подготовку кромок. В зависимости от места расположения поврежденного участка, а также от предъявляемых требований к ремонтируемому изделию накладка может быть установлена впопай или внахлестку.

Продольные трещины заваривают. Трубчатые детали, имеющие поперечные трещины, а также пробоины, изломы целесообразно ремонтировать установкой наружных или внутренних бужей. Аналогичным образом ремонтируются металлоконструкции, имеющие различный профиль поперечного сечения (угловые, швеллерные и другие профили).

**Автоматическая дуговая сварка и наплавка под флюсом.** В этом случае дуга горит под флюсом между голый электродной проволокой и изделием, образуя газовый пузырь, в котором существует дуга, расплавляющая металл. При кристаллизации расплавленного металла образуется сварной шов. Схема электродуговой наплавки под флюсом приведена на рис. 18.7.

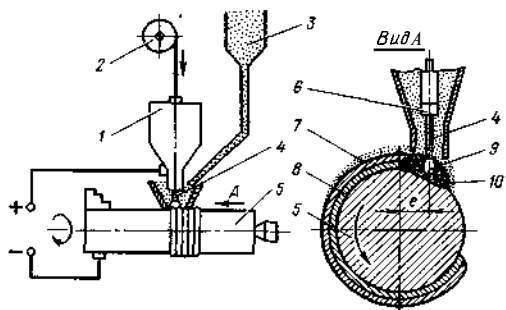


Рис. 18.7. Схема электродуговой наплавки детали под флюсом:

1 — наплавочный аппарат; 2 — катушка с проволокой; 3 — бункер с флюсом; 4 — электродная проволока; 5 — деталь; 6 — мундштук; 7 — шлаковая корка; 8 — наплавляемый металл; 9 — дуга; 10 — расплавленный металл

Цилиндрические детали при наплавке совершают вращательное движение, а наплавочная головка — поступательное. При этом электродная проволока подается с некоторым смещением  $e$  от зенита наплавляемой поверхности в сторону, противоположную вращению детали. Это предотвращает стекание жидкого металла сварочной ванны. Смещение электродной проволоки для деталей диаметром 40...50 мм составляет 4...6 мм, а для 60...80 мм — 8...10 мм.

При наплавке плоской поверхности наплавочная головка или деталь совершает поступательное движение со смещением электродной проволоки на 3...5 мм поперек движения до наложения шва заданной длины. Наплавку шлицов производят в продольном направлении путем заправки впадин, устанавливая конец электродной проволоки на середине впадины между шлицами.

Электродная проволока при наплавке подбирается в зависимости от материала ремонтируемой детали и предъявляемых к ней требований в условиях эксплуатации. Для наплавки деталей, изготовленных из углеродистых сталей марок 30, 40 и 45, используют проволоку из углеродистой стали Нп-30, -40, -50, -65 или из низколегированной стали Нп-30ХГСА. Детали из сталей 30Х,

35X, 40X и других низколегированных сталей наплавляют проволокой Нп-3ОХГСА или других марок. Для автоматической наплавки применяют проволоку диаметром обычно 1,6 мм для деталей диаметром до 70 мм.

Закаленные детали после наплавки и последующей механической обработки повторно закаливаются ТВЧ для получения необходимой твердости поверхности.

Флюсы для автоматической наплавки должны способствовать устойчивому горению дуги, образованию плотного наплавленного металла и шлака, легко удаляемого с поверхности металла. Температура плавления флюса должна быть на 200...300 °С ниже температуры плавления металла. Таким требованиям отвечают флюсы АН-348А, АНК-18 и некоторые другие. В необходимых случаях в флюс вводят легирующие компоненты, например феррохром, графит. Режимы наплавки устанавливаются в зависимости от диаметра обрабатываемой детали. Напряжение холостого хода берется 30...36 В, рабочее — 23...28 В.

Для наращивания деталей с большим износом рекомендуется применять автоматическую наплавку порошковой проволокой под флюсом

или открытой дугой без дополнительной защиты. Для повышения твердости наплавленной поверхности последняя подвергается пластической деформации. Режим наплавки цилиндрических поверхностей обуславливается их диаметром: при 40...100 мм сила тока 110...200 А, скорость подачи проволоки 70...100 м/ч, скорость наплавки 14...24 м/ч, смещение электрода 4...8 мм. Наплавкой под флюсом восстанавливаются коленчатые валы, полуоси заднего моста и многие другие детали автомобиля.

**Сварка и наплавка в углекислом газе.** Подача электродной проволоки в зону сварки осуществляется при помощи автоматов или полуавтоматов различных конструкций. Сварка производится на постоянном токе при обратной полярности («плюс» — на электродной проволоке, «минус» — на детали).

Сварку в среде углекислого газа применяют на ряде авторемонтных заводов при ремонте кузовов легковых автомобилей, кабин и оперений грузовых автомобилей, при сварке платформ автомобилей самосвалов, а также для наплавки деталей по цилиндрическим поверхностям, шлицам и др.

Параметры режимов дуговой сварки стыковых швов в среде углекислого газа низкоуглеродистых и низколегированных сталей определяются толщиной металла деталей: при толщине 0,6...5 мм и зазоре в стыке 0,5...2 мм диаметр электродной проволоки 0,5...2 мм, сила тока 50...200 А, напряжение дуги 18...30 В, скорость сварки 20...22 м/ч.

Режим наплавки цилиндрических поверхностей в углекислом газе также зависит от диаметра поверхности: при 10...100 мм диаметр электродной проволоки 0,8...2 мм, сила тока 70...225 А, напряжение дуги 18...22 В, скорость наплавки 20...90 м/ч.

**Вибродуговая наплавка.** Вибродуговая наплавка является разновидностью наращивания поверхно-

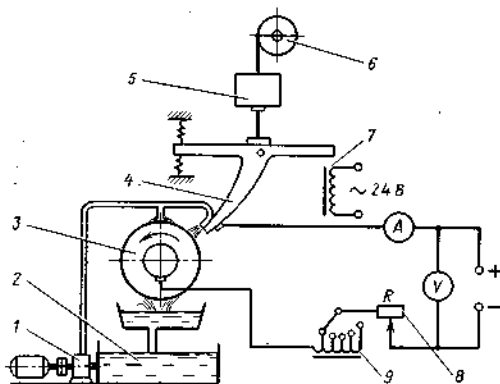


Рис. 18.8. Схема установки для вибродуговой наплавки:

1 — насос; 2 — бак; 3 — деталь; 4 — мундштук; 5 — механизм подачи; 6 — кассета с проволокой; 7 — вибратор; 8 — реостат; 9 — индукционный резистор



сти с использованием тепла электрического тока (рис. 18.8). В этом случае возбуждение дуги происходит вибрирующим электродом под струей охлаждающей жидкости или защитного газа. Основное достоинство этого процесса наплавки — небольшой нагрев детали, малая зона термического влияния и возможность получения наплавленного металла с требуемой твердостью и износостойкостью без термообработки после наплавки.

Кристаллизация и охлаждение наплавленного металла при вибродуговой наплавке происходит почти моментально, поэтому восстановленная поверхность может иметь множество микротрещин, в результате чего значительно снижается предел усталостной прочности детали. Это основной недостаток вибродуговой наплавки как процесса наращивания поверхности.

Вибродуговая наплавка осуществляется постоянным током обратной полярности при напряжении 12...22 В. Низкое напряжение (до 16 В) применяют при наплавке тонкостенных деталей небольшого диаметра. Для наплавки металла сравнительно больших слоев (1,5...3 мм) требуется напряжение 16...22 В.

Ряд автомобильных деталей восстанавливается вибродуговой наплавкой в жидкой среде — 4...6 % водном растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Наплавка производится пружинной проволокой 2-го класса.

Вибродуговую наплавку в углекислом газе осуществляют при напряжении дуги 18...19 В, скорости подачи электрода 25...32 мм/с, расходе углекислого газа 800...1200  $\text{дм}^3/\text{ч}$ . Наплавкой в углекислом газе можно ремонтировать детали малых диаметров с резьбой, используя в качестве присадочного материала проволоку диаметром 1,6 мм (Св-08, -10Г2С, -18ХГСА, -10ХМА, -10МХ и -18ХМА).

**Газовая сварка и наплавка.** Газовая сварка широко используется в авторемонтном производстве при

ремонте кузовов и других изделий из тонколистового материала. Наиболее широко распространена ацетилено-кислородная сварка.

Такая сварка малоуглеродистых сталей производится без флюса. При сварке легированных сталей и других материалов применяются различные флюсы. Вместо ацетилена при выполнении сварочных работ во многих случаях можно использовать пропан-бутан (смесь) и другие горючие газы.

**Сварка и наплавка чугунных деталей.** При восстановлении сваркой чугунных деталей следует учитывать особенности чугуна, затрудняющие его сварку. Эти особенности состоят в следующем:

отбеливание чугуна вследствие высокой скорости охлаждения металла шва и околошовной зоны. Высокая твердость отбеленных участков, т. е. участков с выделениями цементита, практически лишает возможности обрабатывать чугуны режущим инструментом;

возможность образования трещин в шве и околошовной зоне в связи с незначительной пластичностью чугуна, подвергаемого неравномерному местному нагреву при сварке;

интенсивное газовыделение из сварочной ванны при окислении углерода, которое приводит к образованию пор в металле шва;

повышенная жидкотекучесть чугуна, затрудняющая удержание расплавленного металла от вытекания и формирование шва;

образование тугоплавких окислов кремния и других элементов, в результате чего возможно появление непроваров.

Несмотря на отмеченные трудности, в настоящее время разработана технология ремонта чугунных изделий сваркой, обеспечивающая достаточно высокое качество сварного соединения. При этом применяется два основных способа сварки: горячий и холодный. Технологический процесс ремонта *горячей сваркой*

состоит из следующих этапов: подготовка изделия под сварку; предварительный подогрев детали; сварка; последующее охлаждение.

Подготовка под сварку дефектного места заключается в тщательной очистке его от загрязнения и в разделке полостей, обеспечивающих доступность нагреваемого участка для воздействия сварочной дугой, газовым пламенем или другим источником тепла.

Подогрев под сварку осуществляется со скоростью 120...150 °С/ч в печах, горнах или других нагревательных устройствах. В последнее время с успехом используются инфракрасные излучатели, обеспечивающие местный нагрев ремонтируемого участка.

Горячая сварка осуществляется ацетилено-кислородным пламенем с небольшим избытком ацетилена. Сварочные горелки выбирают так, чтобы обеспечивался расход ацетилена 100...120 дм<sup>3</sup>/ч на 1 мм толщины металла. Присадочным материалом служат чугунные прутки. Сварка производится с применением флюсов на основе буры. Охлаждение после сварки должно производиться медленно вместе с нагревательным устройством.

*Холодная сварка* чугунных изделий осуществляется электродами ОЗЧ-1, МНЧ-1, ЖНБ-1 и др. с фтористо-кальциевым покрытием УОНИ-13/55. Стержень электрода ОЗЧ-1 изготавливается из меди М-2 или М-3. Для электрода МНЧ-1 используется монель-металл (63 % Ni, 37 % Си); ЖНБ-1 — сплав, содержащий 55 % Ni и 45 % Fe. Сварка этими электродами производится постоянным током при обратной полярности и небольшими (20...30 мм) участками предельно короткой дугой с проковкой каждого участка и возобновлением сварки после охлаждения шва до 50...60 °С.

Многие чугунные детали автомобиля ремонтируются наплавкой газовым пламенем или электрической дугой.

186

Газопорошковую наплавку чугунных деталей автомобиля можно осуществить с использованием порошковых материалов.

Вибродуговая наплавка чугунных деталей может производиться, например, проволокой Св-15ГСТЮЦА.

**Сварка алюминиевых деталей.** Алюминиевые сплавы относятся к трудносвариваемым материалам. Трудность сварки алюминия связана прежде всего с тем, что его поверхность покрыта плотной, химически стойкой и тугоплавкой окисной пленкой (температура плавления 2160 °С), тогда как алюминий плавится при относительно невысокой температуре (659 °С). Твердая окисная пленка алюминия препятствует сплавлению расплавленной присадочной проволоки с основным материалом и формированию сварного шва.

Наиболее надежным способом восстановления алюминиевых деталей является применение аргонодуговой сварки. При этом соединяемые кромки детали и присадочный материал нагреваются электрической дугой, образующейся между вольфрамовым или торированным вольфрамовым электродом ВТ15 и деталью. Из сопла наконечника горелки непрерывно подается аргон, который, окружая дугу, создает сосредоточенный нагрев, а также предохраняет расплавленный металл шва от вредного влияния кислорода и азота воздуха. В результате этого условия плавления металла качество шва получается высоким, коробление почти отсутствует. При аргонодуговой сварке отпадает необходимость применения электродных покрытий и флюсов.

Кроме обеспечения высокого качества шва, аргонодуговая сварка имеет еще следующие достоинства: высокую производительность процесса, возможность сварки тонкостенных конструкций, снижение интенсивности излучения дуги. При обычной дуговой сварке излучение дуги в 4...8 раз интенсивнее, чем при

аргоно-дуговой сварке. Объясняется это тем, что дуга в среде аргона беднее ультрафиолетовыми и видимыми лучами и богаче инфракрасными.

Наряду с перечисленными достоинствами аргоно-дуговой сварки имеет значительные недостатки, к которым в первую очередь относятся дороговизна этого процесса. Стоимость аргоно-дуговой сварки примерно в 3 раза превышает стоимость ацетилено-кислородной сварки.

Несмотря на относительную дороговизну аргоно-дуговой сварки, достоинства, отмеченные выше, и в первую очередь высокое качество шва обеспечили широкое распространение этого вида сварки.

Диаметр прутка определяется по толщине свариваемого алюминиевого сплава, а также в зависимости от нее устанавливается сила сварочного тока и расход аргона. Режимы сварки деталей из алюминиевых сплавов назначаются в зависимости от толщины материала: при толщине 1...6 мм сварочный ток 60...300 А, скорость сварки 6...8 м/ч, диаметр вольфрамового электрода 2...6 мм, диаметр присадочной проволоки 1,2...3 мм.

В качестве присадочного материала при аргоно-дуговой сварке деталей из алюминиевых сплавов применяют прутки того же состава, что и основной металл. Широкое распространение для этой цели получили проволоки Св-АК12, -АК5 и -АК10. Ремонт деталей аргоно-дуговой сваркой осуществляют на установках типов УДАР и УДГ. Наиболее совершенны установки УДГ-301 и УДГ-501.

Кроме аргоно-дуговой сварки, для ремонта деталей автомобиля из алюминиевых сплавов также применяется ручная дуговая и ацетилено-кислородная сварка. Дуговую сварку осуществляют на постоянном токе при обратной полярности с использованием обычно электрода ОЗА-2. Сердечник электрода изготавливается из проволоки Св-АК3 или Св-АК10.

Покрытие электрода ОЗА-2 обладает большой способностью к влагопоглощению. Отсыревшие электроды перед употреблением прокаливают при температуре 200...230 °С в течение 1...1,5 ч.

Газовую сварку деталей из алюминиевых сплавов можно вести с использованием ацетилена или пропан-бутана нормальным и слегка ацетиленистым пламенем с использованием флюса, например АФ-4А. В качестве присадочного материала используются те же проволоки, которые применяются при аргоно-дуговой сварке, или проволока того же состава, что и свариваемый металл.

Флюсы и электродные покрытия вызывают коррозию сварного шва, поэтому после сварки сразу же следует удалить остатки флюса или покрытия. Для этого поверхность шва и околошовной зоны протирают ветошью, смоченной теплой водой и прочищают стальной щеткой до появления блеска на очищенной поверхности.

#### **Контактная сварка и наплавка.**

В зависимости от характера соединения контактную сварку подразделяют на стыковую, точечную и роликовую. В авторемонтном производстве стыковая сварка применяется при ремонте полусосей, клапана, карданных валов и других деталей автомобиля. При *стыковой сварке* непрерывным оплавлением малоуглеродистых и низколегированных сталей плотность тока 10...50 А/мм<sup>2</sup>. При сварке с подогревом деталей плотность тока снижается до 2...3 А/мм<sup>2</sup>. *Точечная сварка* при ремонте автомобилей используется для соединения элементов из тонколистового материала. Плотность тока при точечной сварке может быть 120...360 А/мм<sup>2</sup> (жесткий режим) и 80...160 А/мм<sup>2</sup> (мягкий режим). *Роликовая сварка* в авторемонтном производстве применяется редко.

В ремонтном производстве нашла применение контактная наплавка, когда на поверхность детали навивается проволока или лента, одно-

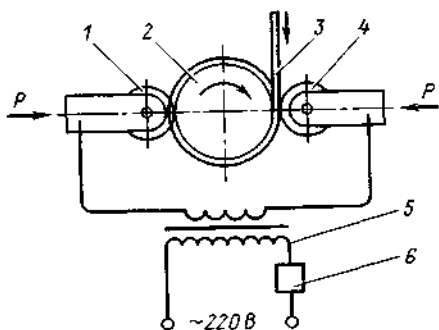


Рис 189 Схема установки для контактной наплавки

1, 4— ролики, 2— деталь, 3— проволока (лента), 5— трансформатор, 6— прерыватель

временно нагреваемая электрическим током (рис. 18.9). При наплавке могут использоваться проволоки Нп-50, -60, -80, -60Г, -3ОХГСА и др. Электроконтактная наплавка обеспечивает высокую производительность процесса (до 60...70 см<sup>2</sup>/мин при толщине слоя до 1 мм), незначительную потерю присадочного материала и небольшую зону термического влияния (до 0,5 мм).

#### Оборудование для полуавтоматической и автоматической сварки.

Полуавтоматы и автоматы применяются при сварке и наплавке под флюсом и в защитной среде. Для механизированной наплавки под слоем флюса применяют подвесные и самоходные сварочные головки А-384, -409, -508М, АВС, установки типа У-652, полуавтоматы ПШ-5-1, ПШ-54, ПДШМ-500. Для крепления наплавляемой детали и сообщения ей вращательного движения часто служит обычный токарный станок. В качестве источника тока целесообразно использовать универсальные тиристорные выпрямители ВДУ-504-1, ВДУ-1201, универсальные генераторы ГД-304, ГД-500 и др. Автоматическая наплавка осуществляется также при помощи станков У-465, -427 и -652. Для полуавтоматической или автоматической сварки и наплавки в углекислом газе рекомендуется оборудование с автоматом ВДУ-504

или с полуавтоматами ВДГ-303, ВДГ-601.

Более перспективным средством автоматизации сварочного производства являются промышленные роботы, состоящие из сварочного оборудования, манипулятора, сварочной горелки или головки и устройства управления. Режимы сварки промышленными роботами должны соответствовать режимам автоматической сварки.

**Электронно-лучевая сварка.** При электронно-лучевой сварке поток электронов, возникающий в результате термоэмиссии с раскаленного катода («электронной пушки»), разгоняется напряжением 20...200 кВ до скоростей порядка 0,05—0,7 от скорости света. Этот поток электромагнитными системами может фокусироваться, отклоняться и подаваться к свариваемому месту, где тормозится в течение  $10^{-9}$ ... $10^{-11}$  с. При этом температура материала поднимается выше 10 000 °С.

Особенностью электронного пучка является то, что прогрев металла идет не с поверхности, а в толще приповерхностного слоя. Экономические расчеты показали, что стоимость сварки (учитывая стоимость оборудования, энергии, металлов, обслуживания) в условиях серийного производства сопоставима со стоимостью сварки в среде углекислого газа.

**Лазерная сварка.** В технике нашли применение два типа лазеров: кристаллические и газовые. В кристаллической установке лазерный луч получается облучением рубинового стержня мощной импульсной лампой, питаемой конденсаторной батареей. В газовых лазерах молекулы переводятся на возбужденные уровни электрическим разрядом. Излучение лазера, как и обычный свет, может преломляться, отражаться, фокусироваться и направляться к свариваемому изделию.

Достоинство лазерной сварки — очень малое тепловложение в обрабатываемый материал, что практи-

чески устраняет образование зоны термического влияния. Лазерная сварка находит в ряде случаев применение и в автомобильной технике, например при изготовлении карданных валов, ремонта корпуса масляного фильтра и т. п.

**Пайка.** Применяется пайка при ремонте радиаторов системы охлаждения, трубопроводов, чугунных и алюминиевых литых деталей и в других случаях. В авторемонтном производстве используются как низкотемпературные (оловянно-свинцовые), так и высокотемпературные (медно-цинковые и др.) припои.

Оловянно-свинцовыми припоями ремонтируют медные и латунные радиаторы, провода, различные приборы и детали, когда не требуется высокая прочность соединения. Медно-цинковые припои используются для ремонта стальных изделий. В частности, припой ЛК62-05, легированный кремнием, ЛКН56-03-6 — кремнием и никелем, а также медно-фосфористые припои могут применяться для пайки чугуна. Детали из алюминиевых сплавов следует паять припоями на основе алюминия, обеспечивающими высокую коррозионную стойкость соединения.

Для пайки стали оловянно-свинцовыми припоями используются флюсы на основе хлористого цинка, а меди и медных сплавов — на основе канифоли. Могут быть применены и другие химически активные и нейтральные низкотемпературные флюсы. Для пайки углеродистой стали и медных сплавов высокотемпературными припоями применяются бура, борная кислота и их смеси. Пайку легированных сталей, бронзы, чугуна обеспечивают боридно-фторидные флюсы ПВ-200, -201, -209. Пайку алюминия и его сплавов обеспечивают флюсы, содержащие хлориды и фториды щелочных металлов.

Ремонт деталей пайкой представляет комплекс процессов, включающих следующие этапы: выбор припоя и способов защиты паяемой поверх-

ности от окисления, подготовку деталей к пайке, нагрев деталей под пайку и обработку паяных изделий.

Выбор припоя производится в зависимости от материала и условий эксплуатации паяемой детали. Защита от окисления осуществляется применением флюсов, восстановительных газов, вакуума или ультразвука. Подготовка изделия к пайке состоит в очистке паяемых кромок изделия от загрязнений, продуктов коррозии, краски, окалины, жиров шлифовальной шкуркой, шабером или стальной щеткой. Для удаления ржавчины может быть использовано химическое травление. Жировые загрязнения удаляют органическими растворителями.

Зазор между соединяемыми кромками должен быть 0,05...0,1 мм. Нагрев деталей при пайке осуществляется различными способами. Наиболее широкое распространение в настоящее время получил нагрев паяльником, пламенем горючих газов, электроконтактным способом, в ваннах с расплавленной солью или припоем, током высокой частоты и в электрических печах. В условиях ремонта преимущественно применяется пайка паяльником или газовым пламенем. Обработка деталей после пайки состоит в удалении остатков флюса, а также в отделке паяного шва.

### 18.3. ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЕ НАПЫЛЕНИЕ

Напыление является одним из способов нанесения металлических покрытий на изношенные поверхности ремонтируемых деталей. Сущность процесса состоит в напылении предварительно расплавленного металла на специально подготовленную поверхность детали струей сжатого воздуха (газа). Мелкие частицы расплавленного металла достигают поверхности детали в пластическом состоянии, имея большую скорость полета. При ударе о поверхность детали они деформируются и, внедряясь в ее поры и неровности,

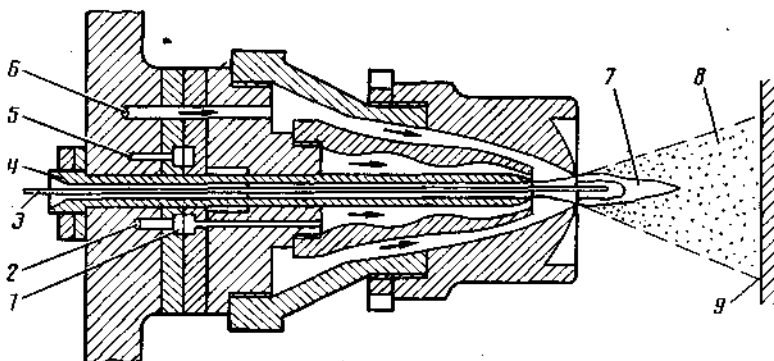


Рис. 18.10. Распылительная головка аппарата для газопламенного напыления: 1— смесительная камера; 2— канал подачи кислорода; 3— проволока; 4— направляющая втулка; 5— канал подачи ацетилена; 6— канал подачи сжатого воздуха; 7— ацетилено-кислородное пламя; 8— газо-металлическая струя; 9— напыляемая поверхность

образуют покрытие. Соединение металлических частичек с поверхностью детали и между собой носит в основном механический характер и только в отдельных точках имеет место их сваривание.

Основными достоинствами напыления как способа ремонта деталей являются: высокая производительность процесса, слабый нагрев деталей (120...180 °С), высокая износостойкость покрытия, простота технологического процесса и применяемого оборудования, возможность нанесения покрытий толщиной более 0,1 мм из любых материалов и сплавов. К недостаткам процесса следует отнести пониженную механическую прочность покрытия и сравнительно невысокую прочность сцепления его с поверхностью детали.

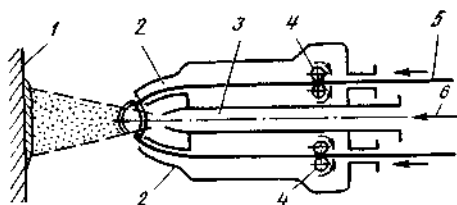


Рис. 18.11. Схема дугового напыления: 1— напыляемая поверхность; 2— направляющие наконечники; 3— воздушное сопло; 4— механизм подачи проволоки; 5— проволока; 6— сжатый воздух

В зависимости от вида тепловой энергии, используемой в аппаратах для напыления, различают следующие способы напыления: газопламенное, дуговое, высокочастотное, детонационное, плазменное, ионно-плазменное.

**Газопламенное напыление.** Плавление напыляемого металла осуществляется ацетилено-кислородным пламенем, а его распыление — струей сжатого воздуха (рис. 18.10). Напыляемый материал в виде проволоки подается специальным аппаратом через центральное отверстие горелки и, попадая в зону пламени с наиболее высокой температурой, расплавляется. Проволока подается с постоянной скоростью роликами, приводимыми в движение встроенной в аппарат воздушной турбинкой через червячный редуктор.

Преимуществами газопламенного напыления являются: небольшое окисление металла, мелкий его распыл, относительно высокая прочность покрытия. К недостаткам следует отнести сравнительно невысокую производительность процесса (2...4 кг/ч).

**Дуговое напыление.** Плавление металла осуществляется электрической дугой, горящей между двумя проволоками, а распыление — струей сжатого воздуха (рис. 18.11).

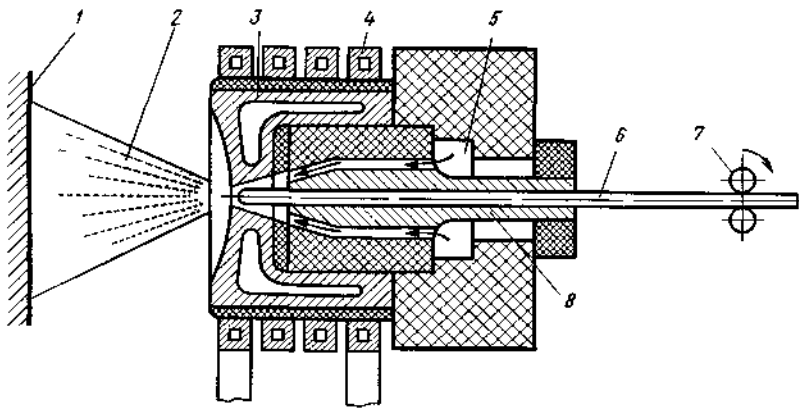


Рис 18.12 Распылительная головка аппарата для высокочастотного напыления  
 1 — напыляемая поверхность, 2 — газометаллическая струя, 3 — концентратор тока 4 — индуктор, 5 — канал подачи сжатого воздуха, 6 — проволока, 7 — ролики, 8 — направляющая втулка

Привод для подачи проволоки в электрическую дугу в ручных аппаратах осуществляется от воздушной турбинки, в станочных — от электродвигателя

Основным преимуществом дугового напыления является высокая производительность процесса (от 3 до 14 км/ч). Недостатками электродугового напыления являются повышенное окисление металла, значительное выгорание легирующих элементов и пониженная плотность покрытия.

#### Высокочастотное напыление.

Плавление исходного материала покрытия (проволоки) происходит за счет индукционного нагрева, а распыление — струей сжатого воздуха. Головка высокочастотного аппарата для напыления (рис 18.12) имеет индуктор, питаемый от генератора ТВЧ, и концентратор тока, который обеспечивает плавление проволоки на небольшом участке ее длины.

Преимуществами высокочастотного напыления являются небольшое окисление металла, относительно высокая механическая прочность покрытия. К числу недостатков следует отнести сравнительно невысокую производительность процесса, а также сложность и высокую стоимость применяемого оборудования

**Детонационное напыление.** При этом способе напыления расплавленный металл, его распыление и перенос на поверхность детали происходит за счет энергии взрыва смеси ацетилена и кислорода. Аппарат для напыления (рис. 18.13) имеет ствол, охлаждаемый водой, во взрывную камеру которого подаются в определенном соотношении ацетилен и кислород. Затем в камеру вводится с помощью струи азота напыляемый порошок (частицы по 50...100 мкм) и газовую смесь поджигают электрической искрой. Взрывная волна сообщает частичкам порошка высокую скорость полета, которая достигает 800 м/с. При ударе о деталь кинети-

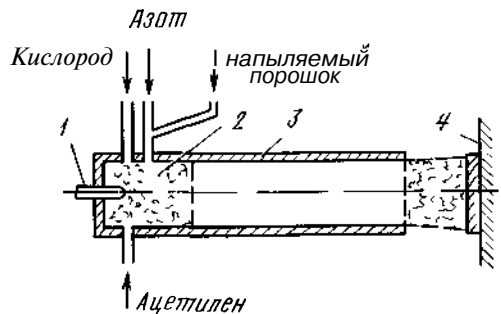


Рис 18.13 Схема детонационного напыления  
 1 — электрическая свеча, 2 — взрывная камера  
 3 — водоохлаждаемый ствол, 4 — напыляемая поверхность

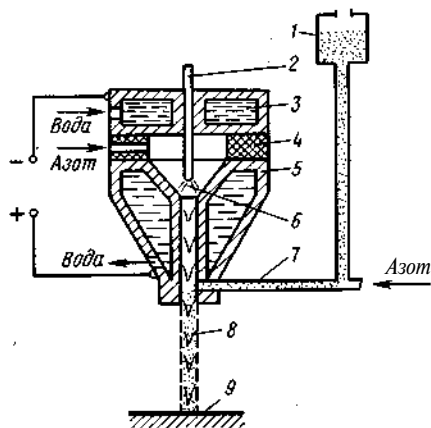


Рис. 18.14. Схема плазмотрона для напыления:

1— порошковый дозатор; 2— катод; 3— рубашка охлаждения; 4— изоляционная прокладка; 5— сопло (анод); 6— дуга; 7— трубка подачи порошка; 8— металлоплазменная струя; 9— напыляемая поверхность

ческая энергия порошка переходит в тепловую, при этом частички порошка разогреваются до  $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

После нанесения каждой дозы порошка ствол аппарата продувается азотом для удаления продуктов сгорания. Этот процесс повторяется автоматически с частотой 3...4 раза в секунду. За один цикл на поверхность детали наносится слой металла толщиной до 6 мкм.

Преимуществами этого способа напыления являются большая производительность процесса, высокая прочность сцепления покрытия с поверхностью детали, невысокая температура на поверхности детали (не более  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). К недостаткам процесса следует отнести высокий уровень шума (до 140 дБ) и, следовательно, необходимость выполнения операции в специальной звукоизолирующей камере.

**Плазменное напыление.** Для распыления и переноса металла на поверхность детали используются тепловые и динамические свойства плазменной струи. Плазма представляет собой частично или полностью ионизированный газ, нагретый до очень высокой температуры и обладающий

свойством электропроводности. Плазменную струю получают в *плазмотроне* (рис. 18.14), который состоит из двух основных частей: катодной и анодной. Катод плазмотрона представляет собой стержень диаметром 6...8 мм, изготовленный из вольфрама, который охлаждается проточной водой. Сопло, изготовленное из меди, также охлаждается водой.

Для того чтобы получить плазменную струю между анодом и катодом, возбуждают электрическую дугу и в зону ее горения вводят плазмообразующий газ, который, проходя через дуговой промежуток, нагревается и ионизируется, т. е. распадается на положительно и отрицательно заряженные ионы.

Под действием электромагнитного поля происходит обжатие столба дуги, а благодаря избыточному давлению газа дуга вытягивается в направлении движения струи. Это приводит к резкому увеличению плотности тока и повышению температуры струи. Плазменная струя выходит из канала сопла плазмотрона в виде тонкого шнура с длиной видимой части до 50...60 мм.

При напылении в качестве плазмообразующего газа применяют азот, плазма которого имеет сравнительно невысокую температуру (до  $10\ 000\text{...}15\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), но обладает высокой энтальпией (теплосодержанием). Это объясняется тем, что процесс образования азотной плазмы имеет две стадии: диссоциацию ( $\text{N}_2 \rightarrow 2\text{N}$ ) и ионизацию ( $\text{N} \rightarrow \text{N}^+ + e$ ). Обе стадии процесса получения плазмы протекают с поглощением тепловой энергии. Таким образом, азотная плазма является носителем большого количества тепловой энергии. Высокая энтальпия азотной плазменной струи и низкая стоимость азота и обусловили его широкое применение в качестве плазмообразующего газа при плазменном напылении.

Исходный материал покрытия вводится в сопло плазмотрона в виде проволоки или гранулированного порошка. Проволока в качестве напы-



ляемого материала используется ре-  
же, так как при ее применении  
структура покрытия получается  
крупнозернистой и, кроме того, не  
все материалы для напыления могут  
быть приготовлены в виде проволоки.  
Поэтому при плазменном напылении  
в качестве присадочного материала  
применяют гранулированные порош-  
ки с размером частиц от 50 до  
150 мкм.

Порошок в сопло плавотрона  
подается из дозатора при помощи  
транспортирующего газа (азота).  
Дозатор определяет расход порош-  
ка и, следовательно, производи-  
тельность процесса напыления. Расход  
порошка можно плавно регулиро-  
вать в пределах от 3 до 12 кг/ч. По-  
падая в плазменную струю, метал-  
лический порошок расплавляется и,  
увлекаемый плазменной струей, на-  
носится на поверхность детали, об-  
разуя покрытие.

Напыление деталей проводится  
при следующем режиме: сила тока  
350...400 А, напряжение 60...70 В,  
расход плазмообразующего газа  
30...35 л/мин, расход порошка 5...  
...8 кг/ч, расстояние напыления  
125...150 мм.

Этот способ напыления является  
наиболее перспективным. К его до-  
стоинствам следует отнести высо-  
кую производительность процесса  
(до 12 кг/ч напыляемого металла),  
прочность сцепления покрытия с по-  
верхностью детали (до 45...50 МПа),  
полную автоматизацию управления  
процессом, возможность нанесения  
покрытий из любых металлов и спла-  
вов.

#### Ионно-плазменное напыление.

При этом способе напыления детали  
помещают в вакуумную камеру, в ко-  
торой напыляемый металл за счет  
тепла электрической дуги перево-  
дится в плазменное состояние. Поло-  
жительно заряженные частицы ме-  
таллической плазмы с большой ско-  
ростью перемещаются в электромаг-  
нитном поле к поверхности детали  
(катоду) и образуют покрытие. В ва-  
куумную камеру вводится реактив-

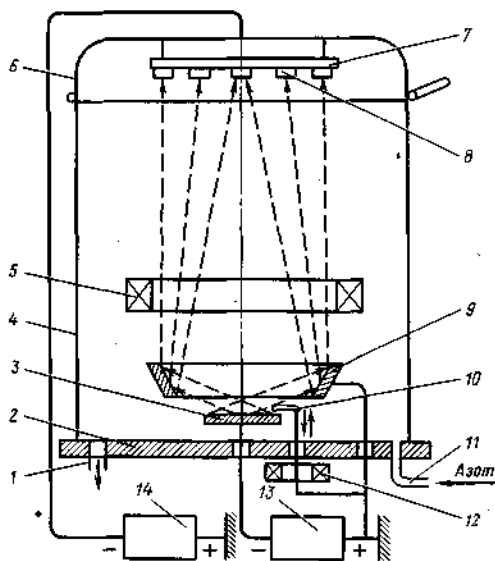


Рис. 18.15. Схема ионно-плазменного напыления

ный газ (азот), за счет взаимодейст-  
вия с которым частиц металлической  
плазмы происходит улучшение  
свойств покрытия.

На рис. 18.15 приведена схема  
установки для ионно-плазменного  
напыления типа ПУСК-83, разрабо-  
танная НИИТавтопромом. Установ-  
ка состоит из вакуумной камеры 4,  
на столе 2 которой смонтированы:  
катод 3, изготовленный из напыляе-  
мого материала; кольцеобразный  
анод 9, расположенный концентрич-  
но катоду; соленоид 5 для ускоре-  
ния движения потока плазмы к напыляе-  
мой детали 8; электрод 10 поджига  
электрической дуги с электромагнит-  
ным вибратором 12. На крышке 6  
вакуумной камеры установлена кас-  
сета 7, в которой крепятся детали.  
Питание установки производится  
от двух источников тока 13 и 14 на-  
пряжением 1000 В. Рабочая камера  
установки через патрубок / соедине-  
на с вакуумным насосом, а через  
трубку 11 в нее подается реактив-  
ный газ (азот).

Перед нанесением покрытия по-  
верхность детали активируется по-  
следовательной бомбардировкой ио-

нами реактивного газа и металла катода. Такая очистка обеспечивает хорошую адгезию покрытия с деталями.

Работа установки для ионно-плазменного напыления характеризуется следующими данными: скорость нанесения покрытия 0,8...1 мкм/мин, максимальная толщина покрытия 10...15 мкм, общее время нанесения покрытия, включая время на создание вакуума и на загрузку и выгрузку деталей, 15 мин. Ионно-плазменное напыление можно использовать при восстановлении деталей с небольшим износом.

**Напыляемые материалы и свойства покрытий.** При ремонте деталей напылением в качестве исходных материалов применяют проволоку или порошковые сплавы. Проволоку применяют при газоплазменном, электродуговом и высокочастотном напылении, а порошковые сплавы — при плазменном и детонационном. Для деталей, работающих в условиях неподвижных посадок, используют среднеуглеродистую стальную проволоку. Стальную проволоку с повышенным содержанием углерода применяют для получения износостойких покрытий.

Из порошковых сплавов наиболее широкое применение получили сплавы марок ПГ-СР2, -СР3, -СР4, -С1, ПЖ-5М на основе никеля и железа с высоким содержанием углерода.

Порошковые сплавы на основе никеля обладают рядом ценных свойств: низкой температурой плавления (950...1050 °С), твердостью *HRC* 37...61 в зависимости от содержания бора, жидкотекучестью, высокой износостойкостью и свойством самофлюсования благодаря наличию в своем составе бора и кремния, которые активно отнимают кислород от окислов. Основной их недостаток — высокая стоимость, которая снижает эффективность применения этих сплавов при ремонте деталей.

Сплавы на основе железа с высоким содержанием углерода типа

сормайт (ПГ-С1) имеют высокую твердость *HRC* 57...64, высокую износостойкость, недефицитны, но более тугоплавки (температура плавления 1250...1300 °С) и не обладают свойством самофлюсования.

На практике получили применение композиционные смеси этих порошков с порошками на основе никеля. Порошковая смесь, состоящая из равных долей ПГ-СР3 и ПГ-С1, имеет высокую износостойкость, невысокую температуру плавления (1100...1150 °С), обладает свойством самофлюсования и стоит в 2 раза дешевле порошков на основе никеля. Стальные порошки типа ПЖ-5М применяют для восстановления посадочных поверхностей в чугунных корпусных деталях.

Напыленные покрытия по своим свойствам значительно отличаются от литых металлов. Отличительной особенностью их является пористость. Пористость покрытия зависит от способа напыления, напыляемого материала, режима его нанесения и от других факторов. При прочих равных условиях наибольшую пористость (15...20 %) имеют покрытия, напыленные дуговым способом, а наименьшую (5...10 %) — покрытия, полученные плазменным и детонационным напылением. Пористость покрытия при всех способах напыления возрастает с увеличением дистанции напыления. Она будет тем ниже, чем более высокую температуру нагрева и скорость полета будут иметь частицы металла при встрече с подложкой и чем меньше они будут окислены. Эти условия в наиболее благоприятном сочетании имеют место при плазменном напылении. Пористость покрытия при жидкостном и граничном трении играет положительную роль, так как поры хорошо удерживают смазку, что способствует повышению износостойкости деталей. Однако пористое покрытие имеет пониженную механическую прочность.

Твердость покрытия зависит от напыляемого материала и режима

напыления. Большое влияние на твердость покрытия оказывает расстояние напыления. При малых расстояниях твердость снижается вследствие повышенного нагрева покрытия, а при больших снижается из-за уменьшения скорости полета частиц металла.

Износостойкость напыленных покрытий выше, чем износостойкость исходного материала. Так, при плазменном напылении порошка ПГ-СР4 она в 1,5...2 раза превышает износостойкость стали 45, закаленной до твердости *HRC*,57...63.

Механическая прочность покрытия значительно ниже прочности исходных материалов, применяемых при напылении. Прочность сцепления покрытия с поверхностью детали является одним из основных параметров, определяющих возможность применения способа напыления при ремонте деталей. В зависимости от способа напыления прочность сцепления покрытия с деталью на отрыв составляет 15...50 МПа. Наибольшее влияние на прочность сцепления оказывает метод подготовки поверхности детали к напылению. Чем более шероховатой будет поверхность детали, тем выше будет прочность сцепления ее с покрытием.

Прочность сцепления покрытия с поверхностью детали в основном определяется температурой нагрева и скоростью полета металлических частиц. Так, при нанесении покрытия из стали 45 на стальной образец, подготовленный к покрытию дробеструйной обработкой, прочность сцепления на отрыв составляет при газоплазменном напылении 15...16 МПа, при дуговом — около 30 МПа. При плазменном напылении прочность сцепления покрытия из порошкового сплава типа ПГ-СР4, нанесенного на образец из стали 45, подвергнутого дробеструйной подготовке, еще выше и составляет 45...50 МПа. Более прочное сцепление покрытия с деталью при электродуговом и плазменном напылении объясняется более высокой тем-

пературой нагрева частиц. При всех способах напыления отмечено снижение прочности сцепления покрытия с деталью при увеличении расстояния напыления свыше 80...100 мм, когда температура металлических частиц и скорость их полета значительно понижаются.

Усталостная прочность деталей при их напылении почти не снижается, если при подготовке деталей к напылению применять методы создания шероховатости, не оказывающие влияния на усталостную прочность.

К таким методам относятся дробеструйная обработка и накатка поверхности деталей зубчатым роликом. Эти методы подготовки обеспечивают высокую прочность сцепления покрытия с поверхностью детали и в то же время не снижают усталостной прочности деталей.

#### **Технология нанесения покрытий.**

Процесс включает подготовку детали к напылению, нанесение покрытия и обработку деталей после напыления. Подготовка деталей к напылению служит для обеспечения прочного сцепления покрытия с поверхностью детали. Она включает в себя обезжиривание и очистку детали от загрязнений, механическую обработку и создание определенной шероховатости поверхности детали.

При механической обработке с поверхности детали снимают такой слой металла, чтобы после окончательной обработки напыленной детали на ее поверхности осталось покрытие толщиной не менее 0,5...0,8 мм.

Для получения на поверхности детали необходимой шероховатости ее подвергают дробеструйной обработке или накатывают зубчатым роликом. Дробеструйную обработку производят в специальных камерах чугунной колотой дробью ДЧК-1,5 при режиме: расстояние от сопла дробеструйного аппарата до детали 25...50 мм, давление сжатого воздуха 0,5...0,6 МПа, угол наклона струи к поверхности детали 45°, время обработки 2...5 мин.

Накатку для создания шероховатости применяют при восстановлении деталей с твердостью не более НВ 350...400. Ее производят на токарном станке однорядным зубчатым роликом. После подготовки поверхности детали к напылению наносят покрытие. Промежуток времени между подготовкой и нанесением покрытия должен быть минимальным и не превышать 1,5...2 ч.

Нанесение покрытия на поверхность детали производится на переоборудованных токарных станках или в специальных камерах. При напылении на токарных станках деталь устанавливают в патроне станка, а металлизационный аппарат — на суппорте. При использовании специальных камер они должны иметь соответствующие механизмы для взаимного перемещения детали и металлизатора. Пост напыления оборудуют вытяжной вентиляцией.

После нанесения покрытия деталь медленно охлаждают до температуры окружающей среды и обрабатывают покрытие до требуемого размера. В зависимости от твердости покрытия, требуемой точности и шероховатости поверхности деталей применяют обработку резанием или шлифованием.

**Плазменное напыление с оплавлением покрытия.** Покрытия, полученные способом плазменного напыления, имеют более высокие физико-механические свойства, чем покрытия, напыленные другими способами, однако и они все же значительно уступают покрытиям из тех же материалов, полученным наплавкой.

Все свойства плазменных покрытий могут быть значительно улучшены путем введения в технологический процесс восстановления деталей сравнительно простой операции — оплавления покрытия. При этом плавится лишь наиболее легкоплавкая составляющая сплава. Металл детали при этом лишь подогревается, но остается в твердом состоянии. Жидкая фаза способствует более интенсивному протеканию диф-

фузионных процессов. В результате оплавления значительно повышается прочность сцепления покрытия с деталью, увеличивается механическая прочность, исчезает пористость, повышается износостойкость покрытия и сопряженных с ним деталей.

Оплавление покрытия может быть произведено ацетилено-кислородным пламенем, плазменной струей, ТВЧ и в нагревательных печах. Хорошие результаты дает оплавление ТВЧ, так как при этом обеспечивается локальный нагрев, не нарушающий термообработки всей детали.

Хорошо оплавляются порошковые сплавы на основе никеля, имеющие температуру плавления 980...1050 °С и содержащие флюсующие элементы (бор и кремний), а также 50 %-ная смесь порошков ПГ-СР4 и ПГ-С1 с температурой плавления 1080...1100 °С.

Технологический процесс восстановления деталей с оплавлением покрытия включает в себя операции: шлифование детали для обеспечения правильной геометрической формы поверхности; дробеструйную обработку чугуновой дробью ДЧК-1,5 при давлении воздуха 0,4...0,6 МПа, расстоянии от поверхности детали 20...25 мм в течение 3...5 мин; нанесение покрытия при режиме, рекомендованном для плазменного напыления ТВЧ при режиме: частота тока 75...100 кГц, зазор между деталью и индуктором 5...6 мм, частота вращения детали 15...20 мин<sup>-1</sup>, сила тока высокой степени генератора ТВЧ 5...8 А; шлифование поверхности детали до требуемого размера.

Оплавленные покрытия, как показали исследования, имеют следующие свойства:

при оплавлении покрытий из сплавов на основе никеля их структура становится равномерной, состоящей из твердого раствора с температурой плавления 980...1050 °С, микротвердостью  $H_{\mu} = 2,6...2,9$  ГПа и твердых кристаллов (боридов и карбидов) с микротвердостью  $H_{\mu} = 10,0...12,0$  ГПа

и температурой плавления 1600...1700 °С;

макротвердость оплавленных покрытий, напыленных сплавом на основе никеля в зависимости от содержания в них бора, составляет  $HRC_{37} \dots 61$ ;

благодаря присутствию в структуре оплавленных покрытий твердых кристаллов его износостойкость значительно повышается и при напылении сплавом ПГ-СР4 превышает в 2...3 раза износостойкость стали 45, закаленной до твердости  $HRC_{55} \dots 59$ , при напылении порошковой смесью, состоящей из равных долей ПГ-СР4 и ПГ-С1, — в 5...10 раз;

прочность сцепления покрытия с поверхностью стальных деталей после оплавления повышается в 8...10 раз и составляет 400...450 МПа;

усталостная прочность деталей после оплавления покрытия повышается на 20...25 %, что объясняется упрочняющим влиянием покрытия.

Плазменным напылением с оплавлением покрытия можно восстанавливать поверхности деталей, работающих в условиях значительных знакопеременных и контактных нагрузок (кулачки распределительных валов, шейки коленчатых валов).

#### **18.4. НАНЕСЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

Гальванические и химические способы обработки широко применяются при восстановлении изношенных поверхностей деталей (хромирование, железнение, химическое никелирование), для защиты деталей от коррозии (цинкование, бронзирование, оксидирование), для защитно-декоративных целей (хромирование, никелирование, цинкование, оксидирование), для придания поверхностям деталей специальных свойств: хорошей прирабатываемости (меднение, лужение, свинцование, фосфатирование), для защиты от науглероживания при цементации (меднение), для повышения электри-

ческой проводимости (меднение, серебрение), для повышения отражательной способности (хромирование, никелирование), как подслоя под другое покрытие (медь, никель) или как грунт под окраску (фосфатирование).

#### **18.4.1. Основные сведения о процессе гальванического осаждения (электролиза) металлов**

Гальваническое осаждение металлов производят путем электролиза водных растворов солей этих металлов. Процесс электролиза связан с перемещением электрически заряженных частиц. При пропускании постоянного тока через водный раствор (электролит) положительно заряженные ионы (катионы) перемещаются к отрицательному электроду (катоде), где получают недостающие электроны и превращаются в нейтральные атомы металла, которые образуют покрытие на катоде. Отрицательно заряженные ионы (анионы) перемещаются к положительно заряженному электроду (аноду), теряют свой электрический заряд и превращаются в нейтральные атомы.

На катоде выделяется металл и водород, на аноде — кислород и кислотные остатки. Катодами являются ремонтируемые детали, а в качестве анодов используют металлические стержни или пластины (растворимые и нерастворимые). Растворимые аноды делают из того же металла, который нужно осадить на катоде, нерастворимые изготавливают из сплава свинца и сурьмы и применяют только при хромировании, свинцовании и при оксидировании алюминия и его сплавов.

Масса металла  $g$ , откладывающаяся на катоде при электролизе, может быть определена по закону Фарадея

$$g = CIT,$$

где  $C$  — электрохимический эквивалент,  $г/(А \cdot ч)$ ;  $I$  — сила тока при электролизе,  $А$ ;  $T$  — время электролиза,  $ч$ .

Таблица 18.1. Основные данные технологических режимов электролиза

Металл покрытия	T, г/см <sup>3</sup>	C, г/(А·ч)	Л. %	h <sub>max</sub> , мм	Микротвердость H <sub>v</sub> , МПа
Хром	6,9...7,1	0,324	11...32	0,3	6000... 12 000
Железо	7,7...7,8	1,042	85...95	1,0...1,5	4000...7 000
Цинк	7,0	1,22	97...99	(15...30)10 <sup>-3</sup>	Не контролируется
Медь	8,9	1,186	80...90	(13...26)10 <sup>-3</sup>	»
Никель	8,8	1,095	90...95	(15...25)10 <sup>-3</sup>	»

Поскольку в электролите при электролизе, помимо ионов металла, присутствуют и другие заряженные частицы (водород, гидроокиси металла и др.), то неизбежны потери электроэнергии на их образование. Эти потери учитываются коэффициентом выхода по току

$$\eta = \frac{100(Q_2 - Q_1)}{CIT}$$

где  $\eta$  — выход по току, %;  $Q_1$  — масса детали без покрытия, г;  $Q_2$  — масса детали после нанесения покрытия, г.

В технологических расчетах в зависимости от толщины наращиваемого покрытия при ремонте детали определяют время процесса электролиза (осаждения металла)

$$T = \frac{1000\gamma h}{C\eta D_k}$$

где  $D_k$  — катодная плотность тока, А/дм<sup>2</sup>;  $h$  — толщина слоя покрытия, мм;  $\gamma$  — плотность металла покрытия (табл. 18.1), г/см<sup>3</sup>;  $C$  — электрохимический эквивалент, г/(А·ч);  $\eta$  — выход по току, %.

Толщина слоя покрытия  $h$ , полученная расчетом, практически не соответствует этому значению во всех точках поверхности детали. Это объясняется тем, что силовые линии в электролите при прохождении тока распределяются по поверхности неравномерно: большая концентрация силовых линий — на выступающих частях катода (детали), вследствие чего плотность тока в этих местах выше средней, и поэтому здесь наблюдается более интенсив-

ное осаждение металла (большая толщина слоя). Степень распределения равномерности силовых линий на поверхности катода характеризуется рассеивающей способностью электролита.

Более равномерное покрытие можно получить изменением состава электролита (введением в него специальных добавок — декстрина спирта), изменением режима электролиза (уменьшением плотности тока), применением фигурных анодов и дополнительных катодов (экранов), а также изменением расстояния между деталью и анодом так, чтобы форма анода соответствовала форме детали.

Способность электролита, или, как принято называть, способность ванны покрывать имеющиеся на катоде (детали) углубления, называют *кроющей способностью*.

Таким образом, если рассеивающая способность дает представление о количественном распределении металла на поверхности катода, то кроющая способность дает представление о наличии и отсутствии металла на различных участках покрываемой поверхности. В случае плохой кроющей способности электролита для обеспечения покрытия в углубленных местах применяют дополнительные или фигурные аноды.

#### 18.4.2. Технологический процесс нанесения покрытия

Процесс состоит из трех основных этапов:

подготовка деталей к гальваническому нанесению покрытий;

гальваническое нанесение покрытия;

обработка детали после нанесения покрытия.

Подготовка детали к нанесению покрытия включает следующие операции: механическую обработку поверхности (пескоструйная обработка, шлифование, полирование) с целью восстановления правильной геометрической формы и требуемой шероховатости; установку на подвесном приспособлении; изолирование непокрываемых участков; обезжиривание и декапирование поверхности детали. От качества выполнения этих операций зависит прочность сцепления (адгезия) покрытия с поверхностью детали. Поэтому после шлифования детали, непосредственно перед нанесением покрытия, производят «оживление» поверхности.

Обычно эту операцию производят шлифованием поверхности мелкозернистой шкуркой вручную или полированием на специальном шлифовально-полировальном станке.

Для полирования используют тканевые (бязевые) круги, на которые наносят полировальную пасту. Наиболее часто применяют пасту ГОИ. Абразивным материалом в этой пасте является мелкий порошок окиси хрома. Детали, подлежащие покрытию с декоративной целью, шлифуют на шлифовально-полировальных станках с использованием войлочных кругов, на поверхность кругов наносится абразивный порошок, который закрепляется при помощи клея. После шлифования детали полируют.

Детали, предназначенные для покрытия защитными металлами, обычно подвергают очистке металлическим песком, мелкие детали обрабатываются в галтовочных барабанах. Детали, имеющие загрязнения, подвергают предварительному обезжириванию органическими растворителями (бензин, уайт-спирит, четыреххлористый углерод, трихлорэтилен).

Поверхности деталей, не подлежащие покрытию, изолируют. В качестве изоляционных материалов при хромировании используют кислотоустойчивые токопроводящие материалы — лаки и синтетические материалы: полихлорвиниловый пластик, цапон-лак (раствор целлулоидной пленки в ацетоне) и др.

С целью обеспечения правильного расположения восстанавливаемой детали относительно анодов и надежного подвода электрического тока применяют специальные подвесные приспособления. К конструкциям подвесных приспособлений предъявляются следующие требования:

быстрота установки детали и надежность крепления;

обеспечение равномерного распределения силовых линий на деталях;

обеспечение достаточного свободного подхода электролита к восстанавливаемым поверхностям и свободного выхода газов, выделяющихся при электролизе.

Обезжиривание деталей производится в щелочных растворах с последующей промывкой деталей в воде. Тонкие пленки растворенных жиров и масел, остающихся на детали после обезжиривания и испарения растворителей, удаляют протиркой венской известью ( $\text{CaO} \times \text{MgO}$ ). После протирки остатки извести смывают холодной проточной водой. Равномерный сток воды с поверхности детали без образования отдельных капель указывает на то, что поверхность обезжирена качественно.

Часто для окончательного обезжиривания деталей применяют электрохимическое обезжиривание. В этом случае деталь завешивают на катодную штангу ванны со щелочным раствором (состав: едкий натр 10 г/л, кальцинированная сода 25 г/л, тринатрийфосфат 25 г/л, эмульгатор ОП-7 3...5 г/л). Режим обезжиривания: температура раствора 70...80 °С; плотность тока

5...10 А/дм<sup>2</sup>, длительность процесса 1...2 мин.

При электролизе на поверхности детали (катоде) выделяется водород в виде пузырьков, которые механически срывают с поверхности жировую пленку и происходит эмульгирование жиров в растворе.

**Декапирование** — удаление тончайших окисных пленок с поверхности детали. Этим достигается раскрытие структуры металла, что обеспечивает прочность сцепления покрытия с поверхностью детали. При хромировании декапирование производят в той же ванне, в которой производится и хромирование. Детали завешивают в ванну на анод и выдерживают 1...2 мин для прогрева детали, затем ведут анодную обработку при плотности тока 25...35 А/дм<sup>2</sup> в течение 30...45 с. После этого, не вынимая детали из ванны, переключают деталь на катод и хромируют ее.

### 18.4.3. Хромирование

Этот процесс применяют для ремонта изношенных поверхностей или восстановления декоративных покрытий деталей. Преимущества электрического хрома:

высокая микротвердость (в 1,5...2,0 раза выше, чем при закалке ТВЧ);

высокая износостойкость (в 3...5 раз по сравнению с закаленной сталью);

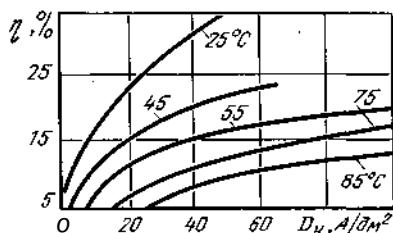


Рис. 18.16. Зависимость выхода хрома по току от изменения плотности тока и температуры электролита (по данным Н. П. Федотьева для универсального электролита)

низкий коэффициент трения (на 50 % ниже, чем у стали и чугуна); высокая коррозионная стойкость; высокая прочность сцепления (адгезия) покрытия с поверхностью детали.

Недостатки процесса хромирования и хромового покрытия:

низкий выход металла по току (8...42 %);

небольшая скорость отложения осадков (0,03 мм/ч);

высокая агрессивность электролита;

большое количество ядовитых выделений, образующихся при электролизе;

толщина отложения покрытия практически не превышает 0,3 мм; гладкий хром плохо удерживает смазочное масло.

В практике ремонтных предприятий применяются серноокислые, саморегулирующиеся, тетрахроматные электролиты.

**Серноокислый (универсальный) электролит.** Состав ванны:  $\text{CrO}_3$  — 250 г/л;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — 2,5 г/л;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 3...5 г/л;  $\text{Fe} < 5$  г/л.

Режим хромирования: температура электролита 45...60 °С, плотность тока 30...60 А/дм<sup>2</sup>. Этот электролит самый распространенный.

Для получения качественного хромового покрытия (с заданными свойствами) необходимо выдерживать режим электролиза и особенно температуру электролита, которая в процессе электролиза не должна отклоняться более чем на  $\pm 2$  °С. При понижении температуры выход хрома по току увеличивается (рис. 18.16) и улучшается рассеивающая способность. Изменение температуры по сравнению с оптимальной существенно влияет на микротвердость осадков (рис. 18.17).

Для приготовления серноокислого электролита необходима дистиллированная вода или прокипяченная отстоявшаяся водопроводная вода. Готовят электролит обычно в ванне для хромирования. В ванну заливают подготовленную воду и вводят



расчетное количество хромового ангидрида ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), непрерывно перемешивая до полного растворения. Затем вводят расчетное количество серной кислоты. Вливать серную кислоту надо небольшой струей, непрерывно перемешивая электролит.

Для электролиза в электролите должны быть ионы трехвалентного хрома  $\text{Cr}^{3+}$  из расчета 3...5 г/л. Для накопления трехвалентного хрома электролит должен быть проработан током. Для этого через электролит необходимо пропустить постоянный ток из расчета 6...8 А·ч на литр электролита при соотношении площади  $S_{\text{к}}:S_{\text{а}}$ , при этом количество ионов трехвалентного хрома будет расти.

При работе хромовой ванны необходимо контролировать состав электролита, так как при содержании в электролите  $\text{Fe} + \text{Cr}_2\text{O}_3$  более 15 % отложения хрома не будет.

При хромировании можно получить три вида покрытий (осадков): серый (матовый), блестящий и молочный (белый) (рис. 18.18).

Образование электролитического покрытия на катоде происходит в результате электрокристаллизации. Характерным для электрокристаллизации является одновременное протекание двух процессов: образование центров кристаллизации и их рост. Если скорость образования центров кристаллизации будет опережать скорость роста образования кристаллов, то структура покрытия будет мелкокристаллической (матовые или матово-блестящие осадки). И, наоборот, при преобладающей скорости роста кристаллов покрытие получается сравнительно крупнокристаллическим (молочные или молочнокво-блестящие осадки).

В структуре электролитических мелкокристаллических покрытий образуются внутренние растягивающие напряжения, которые искажают их кристаллическую решетку. Этим объясняется повышенная твердость и хрупкость осадков хрома и наличие в их покрытии мелких трещин.

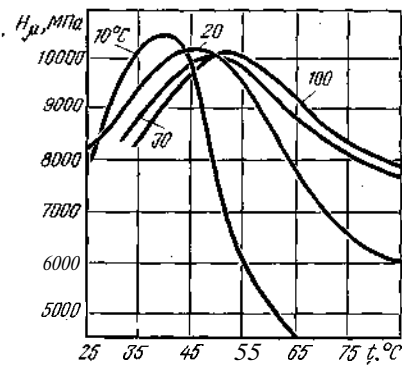


Рис. 18.17. Зависимость микротвердости осадков хрома от изменения плотности тока и температуры электролита (по данным Н. П. Федотьева для универсального электролита)

**Пористое хромирование** — процесс, заключающийся в растравливании на покрытии трещин. Этот процесс ведется с целью повысить маслоудерживающую способность хромовых покрытий. Растравливание хромового покрытия производится в ванне хромирования при средних плотностях (30...40 А/дм<sup>2</sup>). При этом деталь подключают к положительному полюсу источника тока.

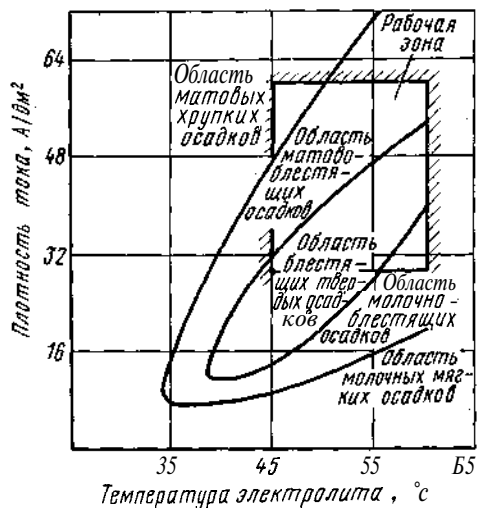


Рис. 18.18. Зависимость получаемого вида хромового покрытия от плотности тока и температуры электролита (250 г/дм<sup>3</sup>  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и 2,5 г/дм<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

Различают два вида пористости электролитических покрытий: *канальчатый* и *точечный*. Канальчатый хром получается при анодном травлении молочных и молочно-блестящих покрытий, а точечный — при анодном травлении матово-блестящих покрытий.

Приработка поверхностей трения при использовании точечного хрома происходит быстрее, чем при применении канальчатого, но износостойкость точечного хрома ниже. Канальчатый хром используют для восстановления деталей, работающих на износ в условиях затрудненной смазки трущихся поверхностей (например, гильзы цилиндров). Точечный хром применяют при восстановлении деталей, работающих при значительном нагреве, а также для деталей, требующих быстрой приработки (например, поршневые кольца, поршневые пальцы).

**Саморегулирующиеся электролиты.** Они представляют собой водные растворы хромового ангидрида ( $\text{CrO}_3$ ) с добавками кремнефтористого калия ( $\text{K}_2\text{SiF}_6$ ) и сернокислого стронция ( $\text{SrSO}_4$ ). Эти соли вводят в ванну в массе, превышающей их растворение, и поэтому они, не растворившись, находятся на дне ванны. Присутствие осадка на дне ванны гарантирует постоянство концентрации солей и этим обеспечивается саморегулирование электролита.

Положительные свойства саморегулирующихся электролитов:

допускают применение более высоких плотностей;

скорость осаждения хрома выше, чем в сернокислых электролитах;

хорошая рассеивающая способность;

малая чувствительность к загрязнению его железом и другими металлами.

**Отрицательные свойства:**

агрессивность и ядовитость электролита;

детали подвесных приспособлений, аноды и детали ванн разру-

шаются больше, чем в сернокислом электролите.

При использовании саморегулирующихся электролитов необходимо особо тщательно изолировать непокрываемые поверхности детали, а также поверхности подвесных приспособлений и ванн. Для уменьшения разрушения анодов их следует изготавливать из сплава свинца (90 %) и олова (10 %), а не свинца и сурьмы (92 и 8 %), как для сернокислых электролитов.

**Тетрахроматные электролиты.**

При хромировании в этих электролитах покрытия получают более мягкие, беспористые (без трещин), серого оттенка, легко полируемые до зеркального блеска. Применяется этот электролит для получения защитно-декоративных покрытий. Электролиз можно производить в железных ваннах без футеровки, так как электролит слабоагрессивен. Процесс отложения хрома может идти при содержании примесей железа в ванне до 30 г/л. Температуру в ванне необходимо поддерживать в пределах 17...27 °С, поэтому в процессе электролиза ванну необходимо охлаждать. Электролиты эти имеют высокий коэффициент выхода по току (25...35 %) и хорошую рассеивающую способность.

**Ванны для хромирования.** Осаждение хрома производят в ваннах, состоящих из двух баков, сваренных из листовой стали толщиной 4...5 мм и установленных один в другой. Между стенками баков заливают воду, которая, образуя водяную рубашку, обеспечивает равномерный нагрев электролита, заливаемого во внутренний бак. Разогрев воды осуществляется паром либо электрическими нагревателями (ТЭНами).

Внутренний бак для предохранения от разрушения электролитом изнутри облицовывается теплопроводным кислотостойким материалом (кислотостойким диабазовым цементом, керамическими плитками или синтетическими материалами — винилпластом, полиэтиленом и др.).

**Хромирование деталей из алюминиевых сплавов.** Подготовка деталей из алюминия и его сплавов к хромированию вызывает большие трудности в связи с образованием на его поверхности окисной пленки ( $Al_2O_3$ ). Удаляется она травлением деталей в щелочном растворе следующего состава (г/л): каустическая сода 10...15, двууглекислый натрий 30, тринатрийфосфат 30. Температура раствора 65...75 °С. После промывки в воде с поверхности детали удаляются продукты травления путем обработки в смеси из двух частей азотной кислоты и одной части плавиковой кислоты. Далее на поверхности детали осаждают слой цинка из раствора (г/л): окись цинка 30...35 и каустическая сода 130...200. Затем детали загружают в хромовую ванну под током и осаждают хром до требуемой толщины покрытия.

#### 18.4.4. Железнение

Электролитическое железо получают из электролитов (г/л): хлористое железо ( $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ ) 300...350, соляная кислота 1...3. Коэффициент выхода по току 85...95 %. Осажденное покрытие — железо — имеет мелкозернистую структуру и высокую твердость по сравнению с литым или прокатанным железом.

При железнении применяют в качестве анодов стержни или пластины из малоуглеродистой стали Ст.08 или Ст.10. При электролизе аноды растворяются и при этом образуют шлам, который загрязняет электролит. Для улавливания шлама аноды помещают в чехлы из стеклоткани.

Свойства железных покрытий так же, как и хромовых, зависят от режима работы ванн (рис. 18.19). Покрытия с твердостью ниже 3 МПа имеют крупнозернистое строение, внутренние напряжения небольшие, трещины на поверхности отсутствуют. Покрытия с твердостью 3...5,5 МПа имеют мелкозернистую

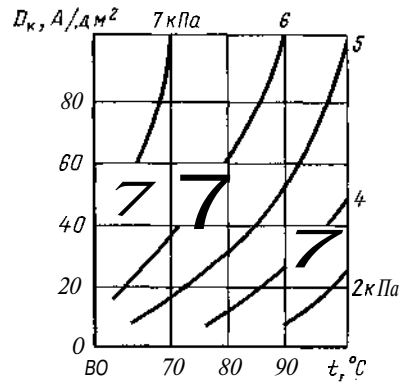


Рис. 18.19. Зависимость микротвердости осадков железа от плотности тока и температуры электролита

структуру и небольшое число крупных трещин, а покрытия с твердостью выше 5,5 МПа имеют тоже мелкозернистую структуру, но большее число мелких трещин. По износостойкости покрытия железа близки к износостойкости деталей, изготовленных из стали, закаленной ТВЧ.

Одним из наиболее серьезных дефектов, получаемых при осаждении железа, является шероховатость, однако она не является признаком выбраковки. Шероховатость (*бугорчатость*) поверхности покрытия вызывается двумя причинами: наличием на поверхности детали посторонних твердых частиц (частицы шлама) и наличием неровностей и острых выступающих кромок и углов деталей. Эти неровности вызывают местное повышение плотности тока, здесь вырастают бугорки или острые углы (железа). Поэтому нельзя вести электролиз в помутневшем электролите. Иногда наблюдается шелушение осадка. Избежать этот дефект можно предварительным обезжириванием детали и исключением перерыва в подаче тока.

Ванны для железнения изготавливаются из листовой стали, внутренняя поверхность которых облицовывается кислотостойким материалом. В практике нашли приме-

нение ванны, облицованные антигмитовыми плитками, эмалированные, гуммированные ванны и керамические ванны небольшого объема (до 200 л). Антигмит марки АТМ-1, получаемый путем пропитки графита фенолформальдегидной смолой, и металлические ванны из титана отличаются от других материалов высокой теплопроводностью и хорошей химической и механической прочностью и рекомендуются для изготовления ванн с внешним обогревом.

### 18.5. НАНЕСЕНИЕ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ

**Цинкование.** Этот процесс применяют главным образом для защиты деталей от коррозии. Наибольшее применение при цинковании нашли серноокислые электролиты состава (г/л): серноокислый цинк ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 215, серноокислый алюминий ( $Al_2SO_4 \cdot 18H_2O$ ) 30, серноокислый натрий ( $NaSO_4 \cdot H_2O$ ) 50 и дикстрин ( $C_6H_{10}O_{15}$ ) 10. Покрытия осаждаются в ваннах или в специальных вращающихся барабанах. Процесс идет при комнатной температуре и плотности тока 1...2 А/дм<sup>2</sup> без перемешивания и 3...5 А/дм<sup>2</sup> при перемешивании электролита. Растворимые из цинка аноды ( $Zn > 99,9\%$ ) помещают в чехлы из капроновой ткани. Толщина цинковых покрытий 15...30 мкм.

Защитные свойства цинковых покрытий можно улучшить за счет последующей химической обработки — *осветления* — путем травления детали в растворе хромового ангидрида (150 г/л) и серной кислоты (3...4 г/л) при комнатной температуре в течение 3...5 с или *пассивирования* в растворе следующего состава: двуххромокислый натрий ( $NaCr_2O_7 \cdot 2H_2O$ ) 35 г/л, серноокислый натрий ( $NaSO_4 \cdot 10H_2O$ ) 20 г/л, азотная кислота ( $HNO_3$ ) 18 мл/л. Время пассивирования 5...10 с.

**Никелирование.** Гальваническое никелирование применяют для по-

крытия различных металлов (стали, меди, латуни, цинка, алюминия). Непосредственно никелем покрывают только медь и латунь. Остальные металлы целесообразно никелировать только после предварительного меднения. Никель применяют в качестве защитного покрытия перед декоративным хромированием. Состав ванны (г/л) и режим никелирования для получения покрытия никеля толщиной 15...25 мкм: серноокислый никель ( $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 280...300, хлористый никель ( $NiCl_2 \times H_2O$ ) 35...45, борная кислота ( $H_3BO_3$ ) 31...40; температура электролита 50...60 °С, плотность тока 2...5 А/дм<sup>2</sup>, напряжение 2,5...3 В; соотношение площадей анода и катода 1:1. При никелировании в качестве анодов применяют чистый никель.

**Оксидирование.** Этот процесс применяют при ремонте с целью защиты деталей от коррозии. Сущность процесса состоит в образовании на поверхности деталей прочных окисных пленок ( $Fe_3O_4$ ) путем обработки деталей в растворе следующего состава (г/л): едкий натр (NaOH) 700...900, азотнокислый натрий ( $NaNO_3$ ) 200...250, азотистокислый натрий ( $NaNO_2$ ) 50...70. Оксидирование производится в кипящем растворе при 135...140 °С; время выдержки 40...50 мин.

Толщина оксидной пленки 0,6...1,5 мкм, цвет пленки либо черный, либо темно-коричневый. В оксидной пленке много пор, которые могут быть очагами коррозии. Поэтому для повышения защитных свойств оксидных пленок производят обработку деталей в горячем масле при 110...120 °С. При этом происходит выпаривание воды из пор и заполнение их маслом.

**Фосфатирование.** Это химический процесс создания на поверхностях стальных деталей пленок, состоящих из солей фосфора, марганца и железа. Толщина пленки 10...40 мкм, цвет пленки светло-серый, пленка пористая и поэтому не может служить защитой от коррозии. Для

повышения защитных свойств пленка замасливается. Фосфатные пленки могут также применяться и для улучшения обрабатываемости поверхностей деталей или в качестве грунта под краску и лаки.

Состав водного раствора для фосфатирования (г/л): соль Мажеф [ $n\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ] [ $m\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ] 30...35, азотнокислый цинк [ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ] 40, азотистокислый натрий ( $\text{NaNO}_2$ ) 2...3; температура раствора 15...20 °С, продолжительность обработки 15...20 мин, толщина покрытия 7...40 мкм.

**Автоматизация регулирования режимов гальванических и химических процессов.** Постоянство температуры электролита ванн ( $\pm 1,5...2,0\%$ ) обеспечивает равномерные и качественные осадки хрома железа и других покрытий. *Регулирование температуры* электролита производится применением приборов, которые автоматически включают и выключают подогрев ванн (электрический или пароподогрев). Для *регулирования плотности тока* применяют приборы, сущность работы которых заключается в следующем: вместе с деталями в ванну завешивают пластину-датчик, включенную в цепь управления прибора. При изменении заданной плотности тока на покрываемых деталях изменяется ток, проходящий через датчик, на основании чего исполнительный прибор корректирует и устанавливает заданную плотность тока.

Поддержание строго постоянной *кислотности* (рН) электролита особенно необходимо при никелировании и цинковании. Работа приборов рН-метров основана на отборе электролита в процессе работы ванн при циркуляции электролита через датчик со скоростью 200 мл/мин, чем обеспечивается точный контроль кислотности электролита. Электроимпульсы от датчика поступают на управляющий прибор, который дозирует подачу кислоты в ванну.

Регулирование *заданной толщины покрытия* производится с помо-

щью счетчиков, контролирующих расход электроэнергии или с использованием реле времени. Погрешность регулирования толщины покрытия обеспечивается с точностью 2...3%. Электролиты, работающие при высоких температурах (например, при железнении), во время электролиза интенсивно испаряются. При этом нарушается концентрация электролита. Поэтому необходимо поддерживать постоянный *уровень* электролита в ваннах. Разработаны устройства, обеспечивающие автоматическое поддержание уровня и его кислотность. Уровень электролита и концентрация кислоты в электролите (в ванне) поддерживается за счет автоматического наполнения ее подкисленной водой, чем компенсируется расход воды при испарении и кислоты при электролизе.

**Автоматы для получения гальванических и химических покрытий.** Улучшить качество покрытий, снизить трудоемкость ручных работ, снизить себестоимость и расширить номенклатуру регулируемых деталей можно за счет внедрения гальванических автоматов и полуавтоматов.

Получили распространение четыре типа автоматов: кареточные, карусельные, со шнековыми барабанами, автооператорные. Больше всего в ремонтном производстве многопроцессных автоматических линий с автооператорами для хромирования, железнения, цинкования, фосфатирования и оксидирования. В автоматическую линию, помимо ванн, включается сушильная камера и оборудование для загрузки и разгрузки деталей. Для ускорения электрохимических процессов предусмотрено реверсирование тока в ваннах электрохимического обезжиривания и в хромовых ваннах.

Перемешивание (барботаж) электролита в цинковых и промывочных ваннах осуществляется сжатым воздухом. Обрабатываемые детали (на подвесках или в корзинах) перемещаются с помощью автооперато-

ров, которые совершают два движения: горизонтальное — вдоль линии ванн со скоростью 12,5 м/мин и вертикальное — подъем и опускание с захватами со скоростью 6,25 м/мин. На раме, по которой перемещаются автооператоры, устанавливаются пулевые (конечные) выключатели.

## 18.6. ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**Материалы.** По техническим свойствам полимерные материалы делятся на два основных вида: реактопласты и термопласты.

При комнатной температуре *реактопласты* жидкие и твердые, а при первом нагревании до определенной температуры переходят в вязкотекучее состояние и под давлением могут формоваться в изделия требуемой формы. Этот процесс необратим, изделия из реактопластов расплавить вторично невозможно. К реактопластам, получившим наибольшее применение в автомобилестроении и авторемонтном производстве, относятся фенопласты, амидоласты, полиэфирные и другие полимеры.

*Термопласты* при комнатной температуре находятся в твердом состоянии, при нагреве переходят в вязкотекучее состояние, а при охлаждении возвращаются в твердое состояние. Процесс обратимый, термопластический полимер можно многократно использовать. Это позволяет использовать их при изготовлении деталей литьем. К термопластам относятся полиэтилен, полипропилен, полистиролы, винипласты, фтороласты, полиакрилаты, поликарбонаты, полиформальдегиды и ряд других полимеров.

Полимерные материалы используются в чистом виде и в виде композиций (пластмасс). В состав композиции входят полимеры (смолы), а также наполнители, пластификаторы, отвердители, красители, стабилизаторы, смазки и другие компоненты. От свойств полимера и ком-

понентов, входящих в композицию, зависят характерные свойства пластмасс. Если полимер используется в чистом виде, тогда его название совпадает с названием полимера. Наибольшее распространение (в практике ремонта) получили такие полимеры, как эпоксидные смолы ЭД-16, -20, -40, ДЭГ-1, ЭДП и ЭДЛ, а также модифицированные эпоксидные смолы (компаунды) К-115, -153, -168 и клеи на их основе.

*Эпоксидная смола* — сиропобразная жидкость от светло-желтого до коричневого цвета. Получают ее из отходов нефти при перегоне. *Наполнители* вводят в полимер (смолу) для того, чтобы повысить теплопроводность, уменьшить усадку, снизить коэффициент линейного расширения, повысить твердость и увеличить механическую прочность.

В качестве наполнителя применяют металлические порошки чугуна, стали, алюминия, окиси железа, двуокиси титана, а также тальк, молотую слюду, фарфоровую муку, измельченные асбест и графит, стеклоткань и стекловолокно. *Пластификаторы* вводят для уменьшения хрупкости пластмасс и придания большей технологичности изделиям (пластичность и эластичность). В качестве пластификатора применяют дибутилфталат, трикрезилфосфат, полиэфир № 1 и др. *Отвердители* — вещества, применяемые для перевода полиэтилена (смолы) в неплавкое и нерастворимое состояние. Для этих целей применяют аминные отвердители: полиэтилентриамин, гексаметилендиамин, полиэтилениолиамин и др. *Красители* вводят в состав компонентов пластмассы для ее окраски (охра, ультрамарин, анилиновые красители), не изменяющейся в процессе эксплуатации изделия. *Стабилизаторы* — компоненты композиции, замедляющие процессы изменения свойств пластмасс как в процессе производства, так и при различных условиях эксплуатации.

**Технология ремонта деталей.** При ремонте выполняются операции:

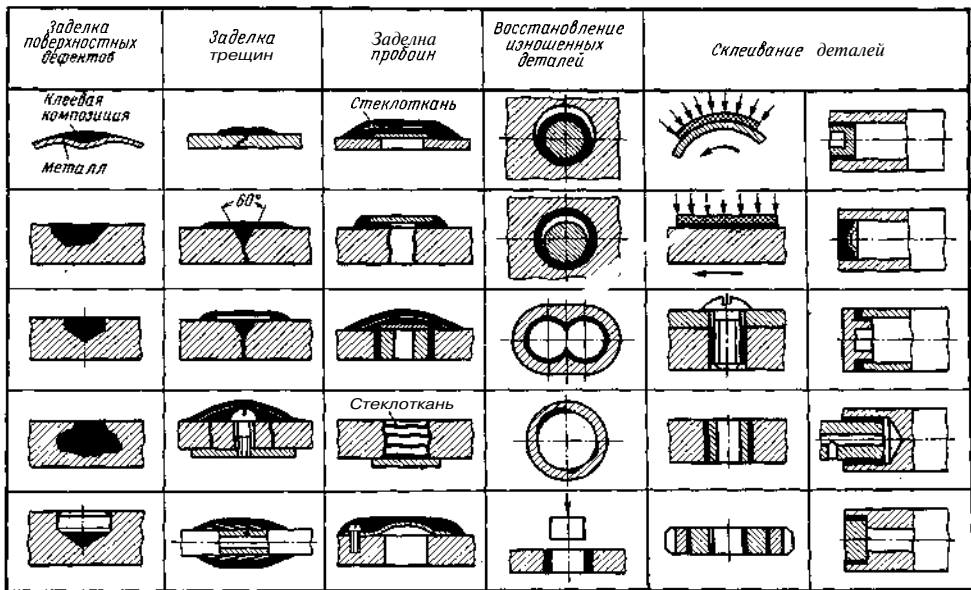


Рис. 18.20. Области применения и приемы ремонта деталей клеевыми композициями (по данным Н. Н. Маслова [12])

заделка трещин и пробоин в картерных деталях, расположенных не на силовых поверхностях и не проходящих через ребра жесткости. Например, в блоке цилиндров и головке, картере коробки передач, редукторах, картере ведущего моста, топливном баке, радиаторе и др.; ремонт посадочных мест неподвижных соединений вал—подшипник;

ремонт изношенных поверхностей в подвижных соединениях вал — подшипник;

заделка поверхностных дефектов, выравнивание поверхностей кузовов, кабин и оперения при ремонте от следов сварочных швов, вмятин и покрытие участков, подверженных коррозии;

вклеивание вместо запрессовки ремонтных втулок, закрепление ослабевших шпилек;

приклеивание фрикционных тормозных накладок.

Устранение дефектов выполняется в следующей последовательности: общая подготовка деталей

(очистка, разделка дефектного места и его обезжиривание); устранение дефекта выбранным способом (рис. 18.20); механическая обработка детали после отверждения нанесенного полимерного материала (снятие наплывов, выравнивание поверхности).

**Устранение трещин в картерных деталях.** Трещины предварительно засверливаются (ограничиваются), а кромки их разделяются под углом  $45...90^\circ$  и тщательно обезжириваются ацетоном или другим растворителем. Затем шов заполняют эпоксидной пастой. При устранении трещины длиной более 100 мм после заполнения шва на пасту накладывают два-три слоя из стеклоткани, каждый слой хорошо прокатывают роликом, между слоями стеклоткани накладывают слои пасты. Для отверждения выполненного шва деталь выдерживают при  $15...18^\circ\text{C}$  15...18 ч.

**Склеивание деталей.** В ремонтном производстве применяются следующие клеи: ВС-10Т (клей на основе

эпоксидной смолы) для склеивания деталей из металлов и пластмасс, металлических деталей с деталями из фрикционных материалов; ФР-12, ПВА, 88А, 88НП для склеивания резины с металлом; БФ-4 для склеивания деталей из гетинакса и текстолита; БФ-6 для ткани, войлока и кожи; МПФ-1 для алюминия и его сплавов, полиамидных пленок, стекла, текстолита; ПЭД-5 для деталей из пенопластов типа поролон и др. Все клеи, кроме БФ-4, 88Н и 88НП, обеспечивают высокую стойкость клеевого шва в бензине, дизельном топливе, маслах, в растворах кислот и щелочей.

Клей ВС-10Т применяют для приклеивания фрикционных накладок к тормозным колодкам. Высокая прочность склеенных деталей достигается при нагреве до 200...300 °С.

Процесс склеивания включает следующие операции: очистку деталей, обезжиривание, нанесение клеевого состава кистью (толщина слоя не более 0,1...0,2 мм) и выдержку в течение 10...15 с при 18...20 °С, прижим склеиваемых поверхностей (удельное давление 0,1...0,3 МПа), выдержку клеевого соединения при  $(180 \pm 5)^\circ\text{C}$  в течение 45 мин. Прочность склеивания зависит от качества механической подготовки поверхностей (подгонка деталей друг к другу) и обезжиривания. Зазор между деталями должен быть 0,05...0,2 мм.

**Герметизация, уплотнение и стопорение соединений деталей.** При сборке машин важно обеспечить надежную герметизацию и уплотнение соединений деталей для предотвращения течи эксплуатационных материалов, попадания пыли и влаги в картерные детали. Для таких целей применяются полимерные герметики типа эластосил и ГИПК, используемые вместо прокладок или в сочетании с прокладками из паронита, прессшпана, картона. Герметики обладают хорошей адгезией с металлической поверхностью, эластичны и не затрудняют процесс разборки

соединения. Для стопорения и уплотнения резьбовых поверхностей и цилиндрических деталей (втулок) применяются анаэробные материалы типа унигеров (УГ-7, УГ-11).

## **18.7. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРИ РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ**

**Общие сведения.** Механическая обработка нашла широкое применение при ремонте деталей. Ее используют при подготовке деталей к ремонту и после нанесения покрытия, а также при обработке деталей под ремонтный размер и при постановке дополнительных ремонтных деталей (ДРД).

Основными особенностями механической обработки ремонтируемых деталей являются:

высокая твердость обрабатываемых поверхностей, так как большинство автомобильных деталей подвергается химико-термической обработке;

неравномерность припуска на обработку поверхностей вследствие неравномерного износа и толщины покрытия;

специфические физико-механические свойства покрытий, наносимых на детали при их ремонте (повышенная пористость, хрупкость, возможность посторонних включений и т. п.);

неоднородность свойств покрытий на различных участках обрабатываемых поверхностей (пятнистость).

Эти особенности влияют на выбор метода и режима обработки. Особенно большие трудности возникают при обработке деталей, ремонтируемых наплавкой. Эти трудности обусловлены неравномерностью припусков, неоднородностью свойств наплавленного металла, включениями шлака и другими причинами ухудшения условий работы режущего инструмента.

Шлифование деталей может привести к снижению микротвердости.



покрытия и к возникновению шлифовочных трещин не только в покрытии, но и в основном металле. Шлифовочные трещины особенно опасны, так как они являются концентраторами напряжений и снижают усталостную прочность отремонтированных деталей. Шлифовать хромированные детали следует электрокорундовыми кругами при режиме: скорость резания 30...35 м/с, поперечная подача 0,002...0,005 мм на двойной ход стола, продольная подача 2...10 мм/об, расход охлаждающей жидкости не менее 25...30 л/мин.

Детали с хромированными покрытиями, нанесенными с декоративными целями, подвергаются полированию, которое проводится мягкими кругами с применением полировальных паст.

Основной особенностью механической обработки деталей с покрытиями из синтетических материалов (пластмасс) является их низкая теплопроводность и недопустимость нагрева реактопластов до температуры более 150...160 °С, а термопластов свыше 120 °С. При обработке пластмассовых покрытий необходимо применять хорошо заточенный инструмент из теплостойкого материала с интенсивным охлаждением сжатым воздухом или керосином. Применение охлаждающих жидкостей недопустимо, так как при повышенной температуре они могут образовывать с пластмассой химические соединения, вредно влияющие на здоровье рабочих. Рекомендуется применять токарную обработку при высоких скоростях резания (до 250...300 м/мин) и при малых подачах (до 0,1...0,2 мм/об).

**Обработка деталей под ремонтный размер.** При таком методе ремонта одна из деталей сопряжения, обычно наиболее сложная и дорогостоящая (например, коленчатый вал), обрабатывается под ремонтный размер, а другая (например, вкладыши подшипников) заменяется новой или отремонтированной также под ремонтный размер. Обработкой

под ремонтный размер восстанавливают геометрическую форму, требуемую шероховатость и точностные параметры изношенных поверхностей деталей.

Восстанавливаемые поверхности деталей могут иметь несколько ремонтных размеров. Их значение и число зависят от износа детали за межремонтный пробег автомобиля, от припуска на обработку и от запаса прочности детали.

Метод определения значения и числа ремонтных размеров для вала и отверстия был впервые разработан проф. В. В. Ефремовым и заключается в следующем. Пусть вал и отверстие при поступлении деталей в ремонт имеют форму и размеры, показанные на рис. 18.21. Для того чтобы придать поверхностям правильную геометрическую форму, необходимо подвергнуть их механической обработке. После обработки размеры поверхностей деталей будут отличаться от первоначальных на удвоенный максимальный односторонний износ  $I$  и припуск  $Z$  на механическую обработку на сторону.

Следовательно, первый ремонтный размер для наружных цилиндрических поверхностей (валов)

$$d_{p.1} = d_n - 2(I_{\max} + Z),$$

где  $d_n$  — размер вала по рабочему чертежу (номинальный), мм.

Припуск  $Z$  зависит от вида обработки: при чистовом точении 0,05...0,1 мм, при шлифовании 0,03...0,05 мм на сторону. Износ  $I_{\max}$

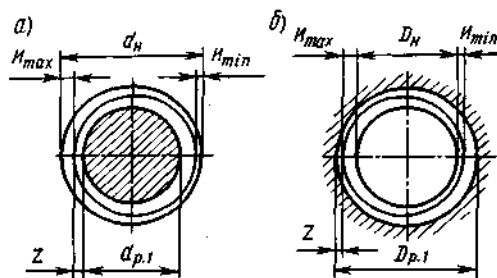


Рис. 18.21. К определению ремонтных размеров для вала (а) и отверстия (б)

может быть определен опытным путем. Однако при контроле и сортировке деталей обычно измеряют не максимальный износ, а износ  $I$  на диаметр за межремонтный пробег.

Поэтому, чтобы упростить пользование формулой для определения ремонтного размера, в нее вводят коэффициент неравномерности износа  $p = I_{\max} / I$ .

При симметричном износе детали, когда  $I_{\max} = I_{\min} = I/2$ , коэффициент неравномерности износа  $\beta = I_{\max} / I = 0,5$ . При одностороннем износе  $I_{\min} = 0$ , а  $I_{\max} = I$ , поэтому  $P = I_{\max} / I = 1$ . Таким образом, значения коэффициента неравномерности износа могут изменяться от 0,5 до 1. Для конкретных деталей коэффициент  $p$  устанавливают опытным путем.

Имея в виду, что  $I_{\max} = \beta I$ , и подставляя это значение в формулу для определения ремонтного размера для вала, получим  $d_{p,1} = d_n - 2X \times (\beta I + Z)$ . В этой формуле величина  $2(\beta I + Z) = Y$  называется межремонтным интервалом. Следовательно, расчетную формулу для определения ремонтных размеров для наружных цилиндрических поверхностей (валов) можно представить окончательно в следующем виде:

$$\begin{aligned} d_{p,1} &= d_n - Y; \\ d_{p,i} &= d_n - 2Y; \\ &\dots \\ d_{p,n} &= d_n - nY, \end{aligned}$$

где  $n$  — число ремонтных размеров.

По аналогии для внутренних цилиндрических поверхностей можно записать:

$$\begin{aligned} D_{p,1} &= D_n + Y; \\ D_{p,2} &= D_n + 2Y; \\ &\dots \\ D_{p,n} &= D_n + nY. \end{aligned}$$

Число ремонтных размеров можно определить по формулам:

для валов

$$n_v = (d_n - d_{\min}) / Y;$$

для отверстий

$$n_{отв} = (D_{\max} - D_n) / Y,$$

где  $d_{\min}$  — минимальный диаметр вала;  $D_{\max}$  — максимальный диаметр отверстия.

Минимальный диаметр вала и максимальный диаметр отверстия определяют по условиям прочности детали, из конструктивных соображений или исходя из минимально допустимой толщины слоя химико-термической обработки поверхности детали.

Обработка деталей под ремонтный размер нашла широкое применение при ремонте автомобильных деталей. Этим способом ремонтируют коренные и шатунные шейки коленчатых валов, опорные шейки распределительных валов, гильзы цилиндров и многие другие детали. К преимуществам этого способа ремонта деталей следует отнести простоту технологического процесса и применяемого оборудования, высокую экономическую эффективность, сохранение взаимозаменяемости деталей в пределах определенного ремонтного размера. К недостаткам этого способа относятся увеличение номенклатуры запасных частей, поставляемых промышленностью, и некоторое усложнение организации процессов комплектования деталей, сборки узлов и хранения деталей на складах.

**Постановка дополнительных ремонтных деталей (ДРД).** Этот метод применяют с целью компенсации износа рабочих поверхностей деталей, а также при замене изношенной или поврежденной части детали.

В первом случае ДРД устанавливают непосредственно на изношенную поверхность детали. Этим способом восстанавливают посадочные отверстия под подшипники качения в картерах коробок передач, задних мостов, ступиц колес, отверстия с изношенной резьбой и другие детали.

В зависимости от вида восстанавливаемой поверхности ДРД могут иметь форму гильзы, кольца, шайбы, пластины, резьбовой втулки или спирали (рис. 18.22).

Если на детали сложной формы

изношены отдельные ее поверхности, то ее можно отремонтировать путем полного удаления поврежденной части и постановки вместо нее заранее изготовленной дополнительной ремонтной детали. Этот способ применяют при ремонте крышек коробок передач, блоков шестерен, ведущей шестерни коробки передач, кузовов и кабин автомобилей и других деталей.

Дополнительные ремонтные детали обычно изготавливают из того же материала, из которого изготовлена ремонтируемая деталь. При восстановлении посадочных поверхностей в чугунных деталях втулки могут быть изготовлены также из стали. Рабочая поверхность ДРД по своим свойствам должна соответствовать свойствам ремонтируемой детали. В связи с этим ДРД в случае необходимости должны подвергаться соответствующей термической обработке.

Крепят ДРД обычно за счет посадок с натягом. В отдельных случаях могут быть сварка по торцу, стопорные винты или штифты. Для обеспечения прочной посадки ДРД,

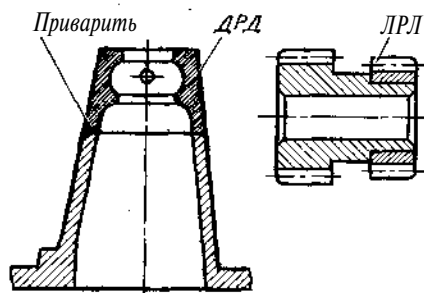


Рис. 18.22. Детали, восстановленные установкой дополнительных ремонтных деталей

имеющих форму втулок, необходимо обработку сопрягаемых поверхностей втулки и детали производить по допускам посадки  $H7/j6$  второго класса точности с шероховатостью  $Ra \leq 1,25 \dots 0,32$  мкм. При запрессовке втулок для предупреждения их деформации рекомендуется сопрягаемые поверхности покрывать смесью машинного масла или графита. После постановки и закрепления дополнительных ремонтных деталей производят их окончательную механическую обработку до требуемых размеров.

## Глава 19

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РЕМОНТА ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

#### 19.1. РЕМОНТ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

К корпусным деталям относятся блок цилиндров, головка блока цилиндров и различные картеры — сцепления, коробки передач, раздаточной коробки, ведущих мостов, рулевых механизмов, масляных насосов и другие детали. В большинстве случаев эти детали изготавливаются отливкой из серого чугуна СЧ21-40, ковкого чугуна КЧ35-10 или из алюминиевых сплавов АЛ4 и АЛ9. Характерным для этих деталей является наличие на них конструкторских, технологических и измерительных баз, привалочных плоскостей, отверстий в соответствии с точным расположением их осей под

подшипники валов, плоскостей разъемов, резьбовых отверстий.

При эксплуатации машин в корпусных деталях возможно появление следующих дефектов: износ или повреждение баз, несоосность отверстий, трещины на стенках и плоскостях разъемов, поверхностях под подшипники и на опорных поверхностях; обломы частей картера, обломы шпилек; забитость, срыв или износ резьбы, коробление, забоины или деформация обработанных установочных, привалочных или стыковых поверхностей; кавитационный износ отверстий, через которые проходит охлаждающая жидкость; выпадание заглушек водяной рубашки блоков цилиндров. Для выявления

**Таблица 19.1. Ремонтные размеры посадочных поясков в блоке под гильзы цилиндров двигателя КамАЗ-740**

Размер	Посадочное отверстие, мм		Шероховатость поверхности $Ra$ , мкм
	верхнее	нижнее	
Допустимый без ремонта	137,48 <sup>+0,08</sup>	133,98 <sup>+0,08</sup>	1,25
Ремонтный	137,5 <sup>+0,04</sup>	134,0 <sup>+0,04</sup>	1,25

дефектов для каждой детали разработаны технические условия на контроль и рекомендации для устранения их.

Ремонт корпусных деталей (блок цилиндров и т. п.) следует начинать с восстановления технологических баз, удаления обломанных шпилек и болтов, повреждений резьбовых отверстий, а также устранения трещин и других повреждений, требующих применения сварочных операций, так как сварка может повлечь за собой коробление обработанных плоскостей деталей.

Дефект коробления плоскостей устраняется, как правило, шлифованием, до устранения неплоскостности, так как оно соизмеримо с припуском на шлифование. При значительных короблениях плоскости фрезеруют, при этом используют для установки деталей базовые поверхности, созданные на деталях заводом-изготовителем, восстановленные поверхности или, что реже, изготовленные ремонтным заводом. Износ внутренних цилиндрических поверхностей в блоке цилиндров устраняется разными способами:

посадочные пояски в блоке под гильзы цилиндров растачиваются под ремонтный размер (табл. 19.1);

поверхности отверстий под толкатели клапанов развертываются под ремонтный размер;

поверхности под вкладыши и втулки ремонтируются механической обработкой под ремонтный размер или методом наплавки, напыления металла, электроискровой обработ-

кой, гальваническим наращиванием металла, полимерными покрытиями, дополнительными ремонтными деталями с последующей механической обработкой до размера по рабочему чертежу. Ремонт с применением дополнительных ремонтных деталей является процессом трудоемким, так как требуется предварительная расточка отверстий (соосных — с одной установки), запрессовка или вклеивание втулок, однако простота способа и надежность отремонтированных отверстий позволяют широко использовать его в практике ремонтных предприятий.

Резьбовые поверхности на картерных деталях ремонтируют, как правило, под чертежный размер завода-изготовителя. Технология восстановления поврежденной резьбы производится в следующей последовательности: проточка, срез поврежденной наружной резьбы или рассверливание отверстия до большого диаметра под заварку, заварка отверстия, удаление наплывов, сверление и нарезание новой резьбы. Возможен ремонт поврежденных резьбовых отверстий применением спиральных вставок или установкой резьбовых втулок. В случае ослабления резьбы при установке шпилек возможно применение полимерных уплотняющих материалов — герметиков на основе эпоксидных смол.

Трещины в картерных деталях устраняют заваркой (пайкой) или применением полимерных клеевых композиций (паст). Трещины предварительно ограничивают засверливанием по концам, а затем разделяют под углом 45 и 60° по всей длине, тщательно очищают от загрязнений, масла и следов коррозии и заваривают (пропаивают). При применении для заделки трещин полимерных клеевых композиций (паст) разделанная трещина должна быть хорошо обезжирена. После заделки трещины корпусная деталь испытывается на герметичность.

Как показывает практика ремонта деталей, не все возможные дефек-

Таблица 19.2. Технологический маршрут типового технологического процесса ремонта корпусных деталей

Номер операции	Содержание операции	Оборудование
1	Удаление обломанных болтов и шпилек	Сверлильный или электроискровой станок
2	Подготовка трещин, пробоин, отверстий с сорванной резьбой и подготовка вставок к заварке	Сверлильный станок, шлифовальная машина с гибким шлангом
3	Заварка трещин, отверстий, приварка вставок	Электросварочная установка
4	Заделка трещин и пробоин пластмассами	Установка для заделки трещин пластмассами
5	Обработка сварных швов, сверление, нарезание резьбы, цекование отверстий	Шлифовальная машина, сверлильный станок
6	Испытание швов на герметичность	Стенд для гидравлического испытания
7	Обработка установочной плоскости и отверстий	Плоскошлифовальный, фрезерный или сверлильный станок
8	Обработка при лочных плоскостей	Фрезерный станок
9	Предварительно растачивание посадочных мест под подшипники втулки, ДРД, поверхности под покрытия	Расточной станок
10	Окончательное растачивание посадочных мест под подшипники, втулки, ДРД	То же
11	Запрессовка ДРД	Пресс
12	Нанесение покрытий (гальванических, полимерных и др.)	Установка для нанесения покрытий
13	Предварительная обработка ДРД, гальванических, полимерных покрытий	Расточной или шлифовальный станок
14	Окончательная обработка ДРД, гальванических, полимерных покрытий	То же
15	Доводка точных внутренних поверхностей	Хонинговальный станок

ты образуются одновременно на каждой детали. Как правило, они находятся в определенных сочетаниях. С учетом всех возможных дефектов корпусной детали устраняются они в последовательности, указанной в табл. 19.2. При восстановлении деталей определенного наименования необходимо выбрать способ устранения каждого из имеющихся на ней дефектов, а затем уже, руководствуясь приведенной последовательностью устранения дефектов, проектировать технологический процесс ремонта детали.

### 19.2. РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «КРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ»

К таким деталям относятся колеччатый и распределительный валы, валы коробок передач и редукторов, карданный вал, полуось ведущего моста, поворотная цапфа, рулевой вал и другие подобные де-

тали. Валы изготавливаются из конструкционных среднеуглеродистых и легированных сталей, высокопрочного чугуна и в зависимости от назначения и условий работы могут иметь шейки, отверстия, резьбу, шпоночные канавки, шлицы, выточки, галтели, зубья, кулачки, торцовые поверхности, фланцы и другие поверхности, работающие при различных видах трения и нагрузках.

При нормальных условиях, работы одним из основных дефектов валов является износ. Перегрузка и усталость металла, нарушение смазки трущихся поверхностей вызывают нагрев и деформацию детали, износ, задиры и схватывание на поверхностях трения. Усталость материала детали, как правило, влечет за собой поломку деталей. Под действием многих факторов условия работы детали изменяются, поэтому изменяется скорость изнашивания их поверхностей, а сочетания дефектов случайны.

Таблица 19.3. Технологический маршрут типового технологического процесса ремонта деталей класса «круглые стержни»

Номер операции	Содержание операции	Оборудование
1	Зачистка центровых отверстий	Токарный или центровочный станок
2	Устранение радиального биения	Пресс
3	» поврежденной или изношенной резьбы	Токарный станок
4	Наплавка резьбовых и шлицевых поверхностей, заварка шпоночных пазов	Установка для наплавки
5	Правка деталей после наплавки (по потребности)	Пресс
6	Механическая обработка наплавленных поверхностей (резьбовых, шлицевых, шпоночных пазов и гладких отверстий)	Токарный, фрезерный, сверлильный станки
7	Предварительная и окончательная обработка поверхностей, подлежащих сопряжению с ДРД	Токарный станок
8	Запрессовка ДРД	Пресс
9	Предварительная обработка ДРД после запрессовки	Круглошлифовальный и токарный станки
10	Наплавка шеек	Установка для наплавки
11	Правка вала после наплавки	Пресс
12	Термическая обработка	Термическая печь
13	Правка	Пресс
14	Предварительная механическая обработка наплавленных шеек	Токарный и Круглошлифовальный станки
15	Подготовка поверхностей к гальваническому наращиванию	—
16	Нанесение гальванических покрытий	Установка для гальванопокрытий
17	Предварительная обработка гальванических покрытий	Круглошлифовальный станок
18	Чистовая обработка поверхностей	То же
19	Балансировка	Балансировочный станок
20	Доводка	Станок для суперфиниширования

Характерными дефектами валов являются износ шеек, повреждение или износ резьбовых поверхностей, неплоскостность, биение привалочных поверхностей фланцев, износ гнезд под подшипники, износ эксцентриков и кулачков, износ шлицов, повреждения установочных поверхностей, износ зубьев. Валы с трещинами, выкрашиваниями, с цветами побежалости (пониженной твердостью шеек), большими задирами выбраковываются.

Износ устраняется различными способами — обработкой под ремонтный размер, пластической деформацией, установкой дополнительной ремонтной детали, накаткой, наплавкой, напылением металлов и полимеров, гальванопокрытиями и др. Выбор способа ремонта валов обуславливается в основном условиями работы детали, качеством ее поверхности, производственной про-

граммой, экономическими факторами. Устранение дефектов на валах при реализации типового технологического процесса производится в последовательности, указанной в табл. 19.3.

Рассмотрим для примера процесс ремонта коленчатого вала двигателя КамАЗ-740, изготовленного из стали 42ХМФА-Ш. Вал имеет четыре шатунных и пять коренных шеек, на носке вала установлена шестерня масляного насоса, на хвостовике — распределительная шестерня. От осевых смещений вал фиксируется четырьмя сталеалюминиевыми полукольцами, установленными в выточке задней коренной опоры. В полостях шатунных шеек установлены бронзовые втулки для центробежной очистки масла, полости закрыты заглушками.

Для контроля технического состояния ремонтируемых коленчатых

валов разработаны технические условия на контроль и рекомендации по устранению выявленных дефектов. Устранение радиального биения вала производится при биении более 0,05 мм. Правят вал на прессе, для чего устанавливают его на призмах крайними коренными шейками. Усилие штока прессы передается на среднюю коренную шейку.

Износ, риски и задиры шеек вала устраняются шлифованием под ремонтный размер на круглошлифовальных станках, для чего предусмотрены 10 ремонтных размеров через 0,5 мм.

Последовательность шлифования шеек: сначала шлифуют коренные шейки при установке коленчатого вала в центрах станка, затем шлифуют шатунные шейки, для чего вал устанавливается в центросместителях. После шлифования шейки полируют пастой ГОИ № 10 или полировальной лентой ЭБ220 (белый электрокорунд зернистостью 220).

### 19.3. РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «ПОЛЫЕ СТЕРЖНИ»

К этому классу можно отнести гильзы цилиндров, втулки, ступицы колес и другие детали. Принято к этому классу относить детали, у которых отношение высоты к наибольшему диаметру одной из поверхностей не менее 0,5. Как правило, детали этого класса изготавливаются из чугуна СЧ21-40, СЧ24-44, СЧ36, специального высокопрочного легированного чугуна. Иногда в гильзах используются вставки из высоколегированного чугуна или стали.

При механической обработке в качестве базовых поверхностей используются внутренние и наружные поверхности, а также торцовые поверхности деталей. Рассмотрим ремонт деталей класса «полые стержни» на примере гильз цилиндров двигателей. Основными дефектами гильз двигателей, поступающих в

ремонт, являются износ, конусообразность, некруглость, задиры, риски на внутренней рабочей поверхности, износ посадочных поясков и опорных буртов, кавитационные разрушения на наружной поверхности, коррозия, накипь и трещины.

Рабочая (внутренняя) поверхность гильзы изнашивается наиболее интенсивно, так как на эту поверхность попадают абразивные частицы из топливно-воздушной смеси, из масла. Детали сопряжения гильза—поршень—поршневые кольца работают при высоких температурах, затрудненной смазке, повышенном давлении, в агрессивной среде, что также является причиной интенсивного износа внутренней поверхности гильз. Коррозионные и кавитационные разрушения бывают весьма значительными.

Обычно гильзы при определении технического состояния выбраковывают в случае наличия трещин, глубоких задигов и рисок на внутренней поверхности, сколов, износе внутренней рабочей поверхности более 0,4 мм и опорного бурта по высоте более 0,3 мм.

В настоящее время разработаны различные технологические процессы ремонта гильз и можно предложить одну из схем трехмаршрутного технологического процесса (рис. 19.1). Очистка гильз от накипи и следов коррозии наиболее эффективна металлическим песком в специальной установке. В качестве очищающей среды можно использовать также косточковую или пластмассовую крошку, стеклянные шарики и гранулы сухого льда. Установки для этих сред подобны установке для металлопескоструйной очистки.

Устранение кавитационных разрушений осуществляют покрытием мест разрушений композициями на основе эпоксидных смол. С этой целью очищенную поверхность обезжиривают и на нее наносят эпоксидную композицию. Перед нанесением эпоксидной композиции гильзы нагревают до 60 °С. В состав компози-

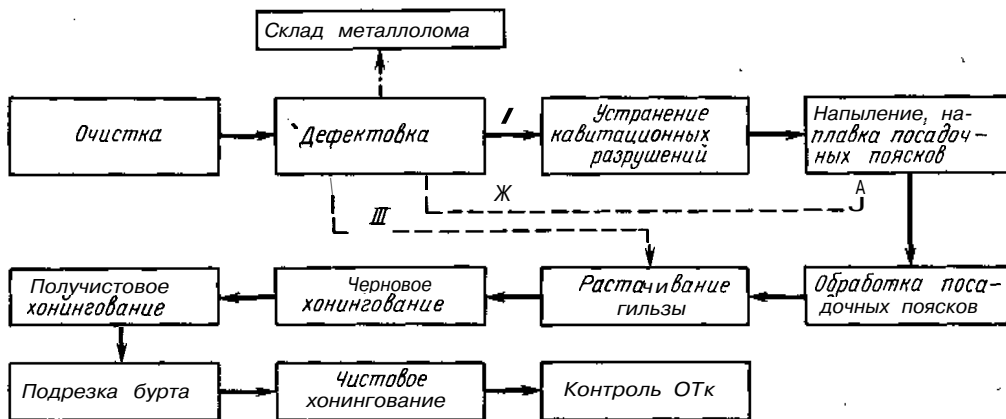


Рис. 19.1. Схема трехмаршрутного технологического процесса ремонта гильз цилиндров:  
/.../// — маршруты

ции входит эпоксидная смола, дибутилфталат, полиэтиленполиамин и в качестве наполнителя — портландцемент. Эпоксидную композицию наносят шпателем, заполняя раковины, а участки вокруг раковин также покрывают этой композицией толщиной до 0,6 мм. При использовании в качестве отвердителя и пластификатора эпоксидной композиции дибутилфталата и полиэтиленполиамин на отверждение нанесенного слоя при окружающей температуре 20 °С идет 72 ч.

Поверхность гильз, разрушенную кавитацией, можно ремонтировать также контактной приваркой ленты. Этот способ состоит в том, что стальная лента (сталь 10, 15, 20) толщиной 0,3 мм накладывается на очищенную поверхность и приваривается, соблюдая следующий режим: усилие сжатия электродов 1000 Н, сила сварочного тока 5400 А, частота вращения гильзы 1,5...2,0 мин<sup>-1</sup>, длительность импульса сварочного тока 0,08 с, длительность паузы 0,12 с, подача сварочных клещей 5,0...6,0 мм/об.

Ремонт посадочных поясков гильзы можно производить, применяя различные способы: вибродуговую наплавку, контактную приварку ленты, гальваническое наращивание железа или хрома. После наращи-

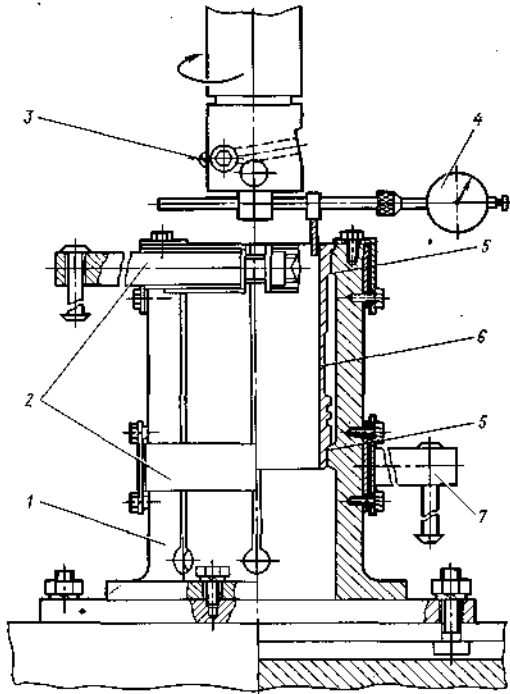
вания изношенной поверхности пояска его подвергают механической обработке шлифованием до размера по чертежу.

Ремонт внутренней рабочей поверхности гильзы чаще всего производится под размер поршня соответствующего ремонтного размера. Однако в ряде случаев автозавод, например КамАЗ, не производит поршни ремонтных размеров и в этом случае необходимо ремонтировать внутренние рабочие поверхности гильз до размера по рабочему чертежу. Естественно, что технологические процессы ремонта этих поверхностей будут отличаться друг от друга. В первом случае гильзы растачивают на вертикально-расточных станках до необходимых размеров за один проход. В результате такой обработки обеспечивается овальность и конусообразность обработанной поверхности не более 0,04...0,05 мм, а  $Ra \leq 2,5...1,25$  мкм. Для повышения производительности и качества процесса растачивания гильз рекомендуется применять резцы с вставками из эльбора-Р. Производя растачивание гильз при 725 мин<sup>-1</sup> шпинделя станка, подаче 0,05 мм/об и глубине резания 0,3 мм, можно обеспечить получение овальности и конусообразности 0,01...0,03 мм, а  $Ra \leq 0,63...0,32$  мкм.



Рис. 19.2. Приспособление для центровки и закрепления гильзы на столе расточного станка:

1— корпус; 2— верхний и нижний пояса зажима гильзы; 3— резец; 4— индикаторное приспособление совмещения оси Гильзы цилиндров с осью шпинделя; 5— верхний и нижний посадочные пояски приспособления; 6— гильза; 7— стяжной винт пояса с рукояткой



Припуск на хонингование в этом случае составляет лишь 0,04...0,05 мм.

Иногда вместо растачивания внутренней поверхности гильз применяют черновое и чистовое шлифование. Эту операцию проводят на специальном бесцентровом внутришлифовальном станке плоскими абразивными кругами из белого электрокорунда. В результате такой обработки удается обеспечить овальность и конусообразность не более 0,03 мм, а  $Ra \leq 1,25...0,63$  мкм.

Как после растачивания, так и после шлифования необходимо хонинговать внутреннюю рабочую поверхность гильз на вертикально-хонинговальных станках. Черновое хонингование закаленных гильз цилиндров производят алмазными брусками. Припуск на черновое хонингование устанавливают 0,1...0,2 мм, на получистовое — примерно 0,03 мм и на чистовое — 0,005 мм.

Режим хонингования незакаленных гильз отличается от вышеприведенного. Припуск на черновое хонингование 0,05...0,08 мм, на получистовое — 0,03 мм и на чистовое — 0,005 мм. Овальность и конусообразность внутренней поверхности гильз после окончательной обработки не должны быть более 0,02 мм, а  $Ra \leq 0,32...0,16$  мкм. Операцию подрезки бурта гильз выполняют перед чистовым хонингованием на токарном станке.

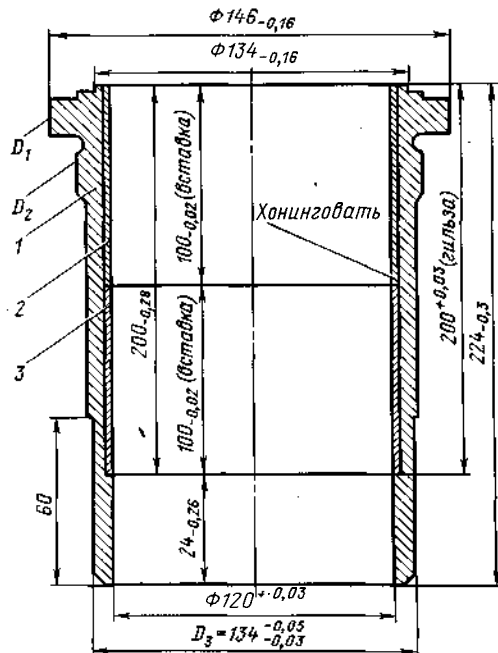


Рис. 19.3. Геометрические размеры гильзы цилиндров КамАЗ-740, восстановленные под размеры по рабочему чертежу:

$D_1, D_2, D_3$  — посадочные диаметры гильзы цилиндров; 1— гильза; 2— верхний пояс, изготовленный из пластины; 3— нижний пояс

Во втором случае, т. е. в случае ремонта гильз цилиндров двигателей КамАЗ-740, внутреннюю рабочую поверхность цилиндров необходимо восстановить до размера по рабочему чертежу. На некоторых авторемонтных заводах освоено и внедрено в производство способ ремонта, сущность которого состоит в следующем. Гильзы цилиндров, имеющих недопустимый износ внутренней рабочей поверхности, растачивают под запрессовку дополнительных ремонтных деталей в виде свернутых стальных пластин и затем обрабатывают хонингованием до размера по рабочему чертежу.

После определения технического

состояния гильзы и в случае необходимости ремонта внутренней ее рабочей поверхности гильзу растачивают на алмазно-расточном станке в специальном приспособлении (рис. 19.2), резцом со вставкой из эльбора-Р. Режим резания при этом следующий: скорость резания 70...90 мм/мин, подача 0,03 мм/об, глубина резания 0,015...0,2 мм.

Заготовка для последующей запрессовки изготавливается из холоднокатаной ленты из углеродистой стали марки У8А или У10А. Геометрические размеры пластин принимаются в зависимости от технологического диаметра цилиндров после их расточки (рис. 19.3).

## Глава 20

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РЕМОНТА РАМ, КУЗОВОВ И КАБИН

#### 20.1. РЕМОНТ РАМ

Характерными дефектами рам являются деформации лонжеронов и поперечин, повреждения кронштейнов, ослабление посадки заклепок в отверстиях, износ отверстий, трещины через отверстия и в сплошном металле. В зависимости от вида дефектов и их числа ремонт рам выполняют при полной или частичной разборке. Последний производят при наличии на них небольшого числа дефектов в виде ослабления заклепочных соединений, износа отверстий и трещин. Полную разборку рам осуществляют при наличии большого числа дефектов или значительных деформациях.

Типовой технологический процесс ремонта рам с полной разборкой включает мойку, разборку на детали, дефектовку и сортировку деталей, их ремонт, сборку рамы, контроль качества сборки и окраску рамы.

Мойку, удаление старой краски и обезжиривание рам выполняют погружением их на 1...1,5 ч в ванну с щелочным раствором каустической

соды (80...100 г/л при 80...90 °С). Для удаления остатков моющего раствора раму промывают горячей водой. Разборку рамы на детали производят удалением заклепок высверливанием, выжиганием газовой резкой или срубанием головок заклепок пневмозубилом. Дефектовку и сортировку деталей рамы выполняют в соответствии с техническими требованиями на ремонт. Критериями для выбраковки балок являются: деформации балок, превышающие допустимые в ТУ на ремонт; наличие трещин при одновременном коррозионном разрушении поверхностей этих трещин. При наличии других дефектов балки ремонтируют.

Ремонт балок начинают с устранения их деформации в холодном состоянии правкой на прессе. Контроль при правке балок осуществляют линейками и шаблонами. При ремонте деталей рамы допускается заварка трещин или вырезка поврежденной части и приварка дополнительных-ремонтных деталей (ДРД). Все сварные соединения выполняют стык или внахлестку при определенной последовательности наложе-

ния швов. При трещинах, проходящих через отверстия для заклепок крепления поперечин, вырезают поврежденный участок и приваривают ДРД, изготовленную из листовой стали Ст3. Сварку балок рам ведут электродом УОНИ13/45 диаметром 4 мм постоянным током 130...150 А. Сварочный шов и прилегающую к нему поверхность основного металла на ширине 20 мм очищают от шлака. Шов не должен возвышаться над поверхностью основного металла более чем на 2 мм. Сварочный шов и поверхность основного металла на расстоянии 3...4 мм по обе стороны от шва упрочняют наклепом пневматическим молотком. Изношенные отверстия заваривают и сверлят новые. Для предупреждения возникновения усталостных трещин кромки просверленных отверстий упрочняют раздачей шариком.

Сборку рам выполняют с использованием гидравлической клепальной установки. Установка для клепки рам (рис. 20.1) состоит из гидравлического привода, арматуры и скобы с силовой головкой. В корпусе установки расположены масляный бак, насос, реверсивный золотник с электромагнитами, реле давления и другие приборы. Шлангами насос соединен с силовой головкой на скобе, которая подвешивается к монорельсу через уравновешивающий механизм. Силовая головка имеет мультипликатор, повышающий давление с 14 до 100 МПа в рабочем цилиндре скобы. Контроль качества ремонта рамы заключается в проверке ее размеров и формы. Разница в длине диагоналей на отдельном участке рамы между двумя поперечинами не должна превышать 5 мм. Результаты измерений расстояний между лонжеронами рамы спереди и сзади не должны давать разницы более чем 4 мм. У собранной рамы отверстия в передних кронштейнах передних и задних рессор должны быть соосны. Скалки для кронштейнов передних рессор и для кронштейнов задних рессор должны од-

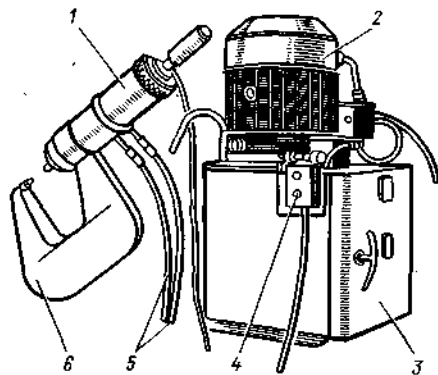


Рис. 20.1. Установка для клепки рам: 1— силовая головка; 2— электродвигатель; 3— корпус; 4— пусковое устройство; 5— шланги; 6— скоба

новременно проходить через отверстия правого и левого кронштейнов. Разность стрел прогиба лонжеронов по вертикали одной рамы не должна превышать 6 мм. Кривизна вертикальной стенки лонжерона допускается не более 2 мм на длине 1 м, а на всей длине — не более 10 мм.

Окраску рам в зависимости от производственной программы осуществляют пневматическим распылением или окунанием. При наличии производственных площадей и большой программе целесообразен второй способ, обеспечивающий полный прокрас рамы во всех местах, повышение производительности труда за счет использования подвесного конвейера. При небольшой программе окраски рам их загружают в ванны подъемниками.

## 20.2. РЕМОНТ КУЗОВОВ И КАБИН

**Общие сведения.** В корпусных конструкциях кузовов и кабин встречаются дефекты в виде коррозионных разрушений и трещин, пространственных отклонений расположения элементов кузова (кабины). Типовой технологический процесс капитального ремонта кузовов и кабин в сборе предусматривает разборку, полное или частичное снятие старой краски, дефектовку, ремонт состав-

ных частей или их замену, сборку, окраску и контроль качества.

При ремонте кузовов и кабин применяют различные способы устранения имеющихся на их поверхностях дефектов (деформаций и перекосов стоек, вмятин и выпучин панелей, пробоин, разрывов, трещин, разрушений сварных швов, коррозионных повреждений). Выбор рационального способа устранения дефектов определяется обеспечением требуемого уровня качества и экономической целесообразностью. Наибольшую трудоемкость и стоимость ремонта кузовов и кабин составляют работы по устранению дефектов на их цельнометаллических сварных корпусах. Типовой технологический процесс ремонта корпуса кузова, имеющего различные дефекты, предусматривает правку панелей, удаление поврежденных участков корпусов, устранение трещин и разрывов, крепление ДРД на места удаленных панелей, проковку и зачистку сварных швов, окончаттельную правку и рихтовку лицевых панелей.

**Снятие старой краски и удаление ржавчины.** Продукты коррозии и старую краску с поверхности кузовов и кабин снимают скребками или металлическими щетками с использованием смывок и преобразователей ржавчины, а также дробеструйным способом. Наибольшую эффективность дают дробеструйный способ и смывки, в основе действия которых лежат химические реакции металла, краски, ржавчины и раствора.

**Дефектовка.** Корпусы кузовов и кабин проверяют с помощью контрольных шаблонов, по конфигурации похожих на сопрягаемую с корпусом деталь, а также кондукторов, позволяющих устанавливать пригодность деталей по геометрической форме. Наличие трещин и коррозии на корпусе выявляется визуально. Усталостные трещины в несущих элементах кузова требуют их замены.

**Правка панелей с аварийными повреждениями.** Правка предусматривает работы по вытягиванию, вы-

давливанию и выколачиванию деформированных частей кузова для придания им первоначальной формы и размеров. Для эффективного проведения этих операций необходимо соблюдать следующие условия: растягивающее усилие должно быть приложено под тем же углом, под которым была приложена сила, вызвавшая повреждение; напротив точки приложения силы должна быть приложена противодействующая сила с тем, чтобы растяжение было регулируемым; должен быть предусмотрен контроль за процессом растяжения, а также за возможными попутными деформациями, вызванными растягивающим усилием.

Правку аварийных кузовов и кабин выполняют на стендах (рис. 20.2). Усилия растяжения и сжатия создают рабочими цилиндрами 1, 3, в которые жидкость поступает от насоса. Для правки кузов 4 устанавливают на подставки 6, закрепленные на фундаментной раме 2. На подставки опираются силовые поперечные трубы 8, которые губками зажимов 7 закрепляют за ребра жесткости порогов кузова. Крепление последнего к раме выполняют расчалочными приспособлениями 5.

**Удаление поврежденных участков кузовов.** Такие участки удаляют газовой резкой, электрифицированным фрезерным инструментом или пневматическим резцом. Наибольшее распространение при ремонте кузовов имеет пневматический резец, так как обеспечивает высокую производительность труда и лучшее качество кромок в местах вырезки. Перед вырезкой дефектные участки размечают с помощью шаблонов и мела. Шаблоны по форме соответствуют ремонтным деталям, а по размерам — поверхности меньше ремонтных деталей на 25 мм по всему периметру. При удалении дефектных участков кузова или кабины следует принять меры по предохранению корпуса от искажений геометрии из-за ослабления его жесткости и под действием собственной массы.

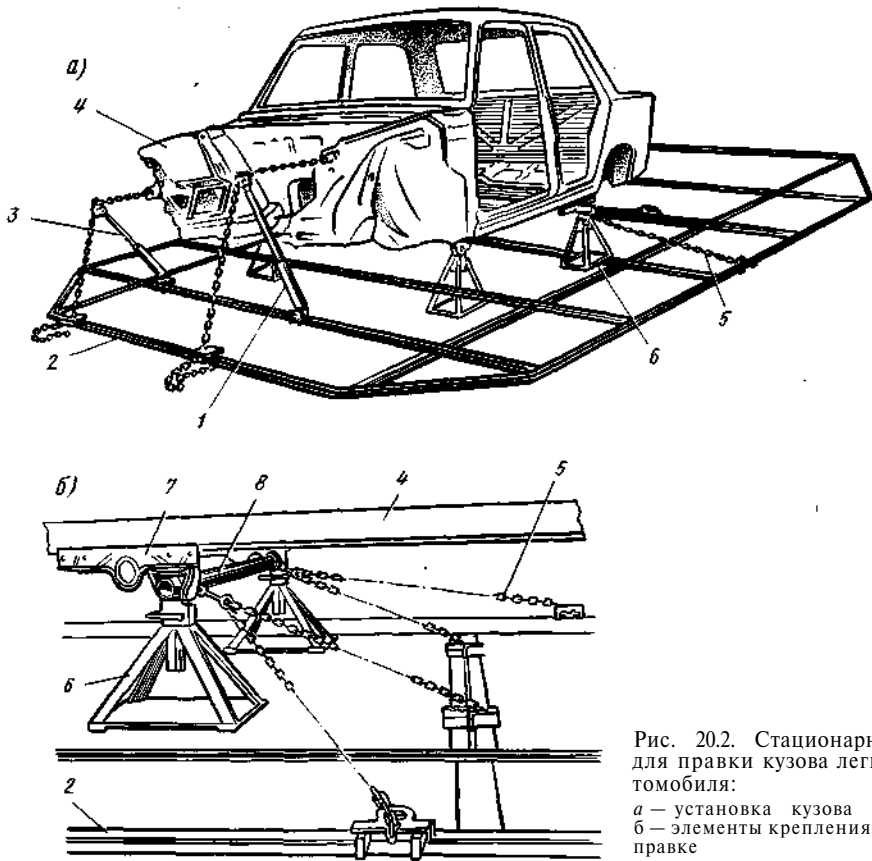


Рис. 202. Стационарный стенд для правки кузова легкового автомобиля:  
 а — установка кузова на стенде;  
 б — элементы крепления кузова при правке

### Устранение трещин и разрывов.

Такие повреждения в корпусе кузовов и кабин устраняют полуавтоматической дуговой сваркой в среде углекислого газа или газовой сваркой. Производительность процесса и качество сварного шва в первом случае выше. Сварку в среде углекислого газа осуществляют полуавтоматами, питающимися от источников постоянного тока обратной полярности. Электродная проволока Св-08ГС или Св-08Г2С. Заварку трещин выполняют проволокой диаметром 0,7 мм при силе тока 40 А и напряжении 30 В.

Газовой сваркой устраняют трещины и разрывы в панелях, изготовленных из листовой стали толщиной 0,5...2,5 мм. После засверливания концов трещины сварку ведут горелками ГСМ-53 или ГС-53 с нако-

нечниками № 1 для листов толщиной 0,5...1,5 мм и № 2 для листов 1,0...2,5 мм. При сварке используют проволоку Св-08 или Св-15 диаметром  $(0,5h + 1)$  мм, где  $h$  — толщина свариваемого металла. Для предотвращения коробления при нагреве вначале производят сварку в отдельных точках (прихватку) с интервалом 10—30 мм. Затем по мере необходимости отдельные участки проваривают сплошным швом от концов трещины к середине.

**Крепление ДРД на места удаленных панелей.** , Дополнительные ремонтные детали крепят к корпусу дуговой сваркой в среде углекислого газа или с помощью болтов и гаек при изготовлении ДРД из стеклопластика, который не подвергается коррозионному разрушению. Перед приваркой ремонтных деталей и па-

нелей вначале производят их хватку к корпусу в отдельных точках через 80...120 мм проволокой диаметром 0,8 мм той же марки, что и для сварки основных швов при силе тока 90...110 А и напряжении 18...28 В. Окончательно панели приваривают сплошным швом внахлестку с перекрытием краев 25 мм. Рекомендуется следующий режим сварки: сила тока 100 А, напряжение 20 В, расстояние от сопла до поверхности детали 8...10 мм, вылет электрода 10...12 мм, наклон электрода к вертикали 18...20°.

Для установки ДРД из стеклопластика в металлическом корпусе кузова сверлят крепёжные отверстия. Если просверлить отверстия невозможно, то к нему приваривают латунным припоем металлические пластины с отверстиями. После выполнения соответствующих пригоночных работ деталь из стеклопла-

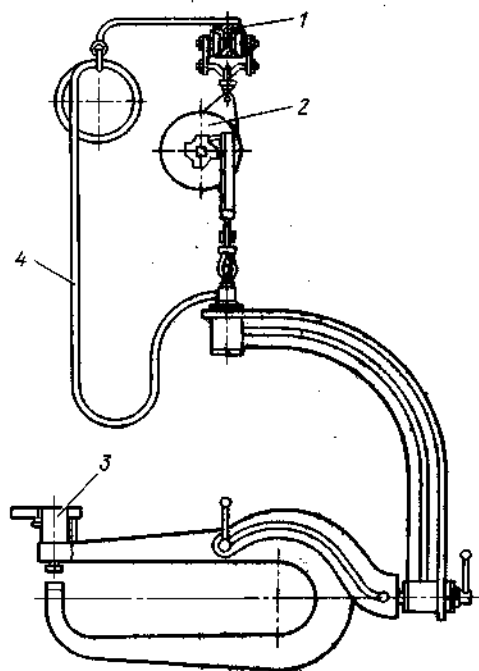


Рис. 20.3. Скоба для рихтовки крыши кабины грузового автомобиля: 1 — монорельс; 2 — эластичная подвеска; 3 — пневмомолоток; 4 — шланг подачи воздуха

тика устанавливают и крепят к корпусу кузова. Таким способом крепят элементы оперения несущих кузовов легковых автомобилей.

Прокровка и зачистка сварных Швов. Такие операции необходимы для упрочнения места сварки и придания ему требуемого профиля. Прокровку выполняют пневматическим молотком при помощи комплекта поддержек и бойков. Места сварки зачищают абразивным кругом, установленным в пневматических или электрических переносных машинках.

Окончательная правка и рихтовка. При окончательной обработке панелей кузовов и кабин обеспечивается точность сборки, а также удаляются мелкие вмятины и выпучины, оставшиеся на лицевых панелях. Эти работы, как правило, совмещают с предварительной сборкой кузовов и кабин до окраски, но они могут выполняться и самостоятельно на отдельном рабочем месте. Рихтовку выполняют пневматическим рихтовальным устройством или вручную. На рис. 20.3 показана правочная скоба для рихтовки крыши кабины, на которой монтируется пневматический молоток, обеспечивающий 350...450 ударов/мин при давлении воздуха 0,4 МПа. Для выполнения рихтовки скобу вводят внутрь кабины и совмещают наковальню молотка с поврежденным участком. Затем в пневмомолоток подают воздух.

Все ремонтные работы с корпусом кузова или кабины, как правило, выполняют при поточной организации работ. Для передвижения корпусов при этом используют тележный конвейер (рис. 20.4) с механическим приводом. Ремонтные работы на постах выполняют на стендах-тележках, позволяющих устанавливать и закреплять кабины, кантовать их в удобное положение, а также передвигать по рельсовым путям конвейера. Восстановленные корпуса поступают на линию сборки кузовов или кабин до окраски.

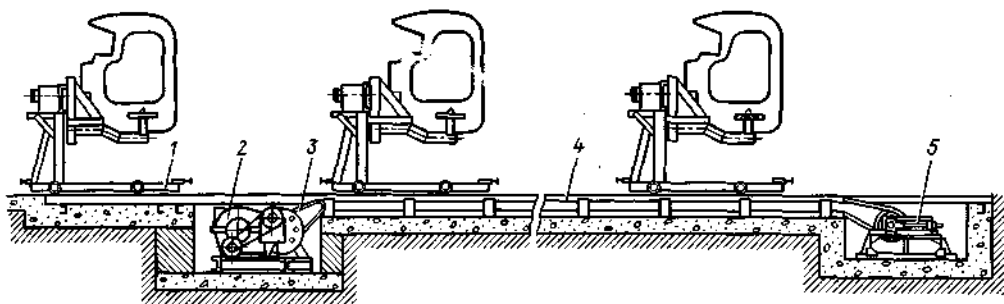


Рис. 20.4. Тележечный конвейер для ремонта кабин:  
1— стейнд-тележка; 2— приводная станция; 3— цепной привод; 4— эстакада; 5— натяжное устройство

**Сборка кузовов и кабин до окраски.** При сборке устанавливают все детали, подлежащие окраске вместе с кузовом или кабиной, а также детали, которые при установке после окраски могут повредить защитно-декоративное лакокрасочное покрытие. Число устанавливаемых деталей и последовательность их постановки зависят от конструкции кузова. При сборке кузовов легковых автомобилей устанавливают двери, крылья, капот, облицовку радиатора, брызговики, крышку багажника и др. После выполнения всех пригоночных работ собранные кузов и кабина поступают в окрасочное отделение.

**Технология окраски.** Окраска кузовов и кабин при их капитальном ремонте выполняется в соответствии с типовым технологическим процессом: приготовление окрасочных материалов, подготовка поверхности к окраске, грунтование, выравнивание лицевых поверхностей, шлифование, нанесение противокоррозионных и противоржавных мастик, нанесение выявительного слоя эмали, локальное шпатлевание и шлифование, нанесение нескольких слоев эмали, сушка, контроль качества нанесенного лакокрасочного покрытия.

Сушат кузов после нанесения каждого слоя лакокрасочного покрытия.

**Приготовление окрасочных материалов.** Перед окраской материалы

тщательно перемешивают, фильтруют и разбавляют до рабочей вязкости. Последнюю определяют вискозиметром, который представляет собой специальную воронку с калиброванным отверстием, из которого вытекает краска. Рабочая вязкость оценивается числом секунд, за которые  $100 \text{ см}^3$  краски вытекает из этой воронки. Необходимая рабочая вязкость эмали зависит от ее физико-химических свойств и способа нанесения покрытия.

**Подготовка поверхности к окраске.** Подготовка предусматривает очистку поверхности кузова и кабины от следов коррозии, окалины, наплывов от сварки, влаги, а также обезжиривание. Наплывы от сварки, продукты коррозии и окалину удаляют переносными электрическими или пневматическими шлифовальными машинками. Гидроабразивную очистку поверхностей кузовов и кабин выполняют суспензией песка или электрокорунда с размерами зерен  $0,15 \dots 0,3$  мм в воде под давлением  $0,3 \dots 1,0$  МПа. Объемное отношение абразива к воде должно составлять от 1:6 до 1:1. Удаление влаги и обезжиривание выполняют погружением или распылением моющего раствора или путем протирки ветошью, смоченной уайт-спиритом.

Поверхность кузова или кабины, подготовленная к окраске, должна быть сухой, обеспыленной, без загрязнений маслами или смазками, не иметь налетов от вторичной кор-

розии, образующейся в процессе подготовки поверхности.

Для контроля степени обезжиривания перед окраской на поверхность кузова наносят 2...3 капли органического растворителя и выдерживают не менее 15 с. Затем прикладывают к данному месту кузова листок фильтровальной бумаги и выдерживают до полного впитывания растворителя в бумагу. На другой листок такой же бумаги также наносят 2...3 капли чистого растворителя и выдерживают до его полного испарения. Внешне сравнивая оба листка, определяют степень обезжиривания по наличию или отсутствию масляного пятна на первом листке.

**Грунтование.** Первый слой покрытия наносят непосредственно на металл. Грунт должен обладать наилучшей сцепляемостью с металлом и с последующим слоем лакокрасочного покрытия. Грунтовку наносят на поверхность кузова или кабины пневмораспылением или электроосаждением. Поверхность грунта должна быть матовой, так как глянцевая поверхность имеет худшее сцепление грунта с последующим слоем лакокрасочного покрытия.

Преобразователи ржавчины, применяемые также в качестве грунтового покрытия, наносят непосредственно на ржавчину. Эти преобразователи, попадая на поверхность, поврежденную коррозией, вступают в химическое взаимодействие с теми соединениями железа, которые образуют ржавчину, и преобразуют их в химические вещества, нерастворимые в воде и являющиеся одновременно пассиваторами коррозии.

**Выравнивание лицевых поверхностей.** Для этой цели используется шпатлевка или порошкообразная термостойкая пластмасса ТПФ-37, наносимая на металлическое основание. Шпатлевку наносят вручную шпателем или пневматическим способом слоем не более 0,5 мм, ибо при большей толщине резко снижается прочность покрытия.

Для нанесения термопластмассы применяют установки газопламенного напыления со специальными горелками. Перед нанесением пластмассы восстанавливаемую поверхность кузова нагревают пламенем газовой горелки до золотисто-желтого цвета, соответствующего температуре 200...220 °С. Подачу порошка через распылительную головку регулируют так, чтобы он от пламени горелки расплавлялся и изменял цвет от светло-серого до черного. После прогрева металла наносят первый слой пластмассы не более 0,5 мм. На этот тонкий слой черного цвета наносят слой заданной толщины, который уплотняют металлическим катком. Для предотвращения прилипания катка к пластмассе его предварительно смачивают водой.

**Шлифование и непосредственная подготовка к окраске.** Неровности на зашпатлеванной поверхности устраняют шлифованием. При мокром шлифовании кузовов и кабин в качестве шлифующего материала используют водостойкую шкурку зернистостью 4...6. Шлифование производят с помощью шлифовальных машинок. После шлифования обрабатываемую поверхность промывают водой, протирают ветошью и сушат, обдувая воздухом.

Нанесение противокоррозионных и противоржавляющих мастик на внутренние и нижние части кузова выполняют пневматическим способом распылителями с увеличенным диаметром сопла.

Нанесение выявительного слоя эмали производят для обнаружения, мелких рисок, царапин, неровностей, не обнаруженных при предыдущих осмотрах. На глянцевой поверхности нанесенной эмали эти дефекты выступают яснее. Выявительный слой эмали должен быть тонким и ровным по всей поверхности, без пропусков и потеков.

Локальное шпатлевание и шлифование выполняют при необходимости нанесением быстросохнущей шпатлевки АШ-30 на дефектные ме-



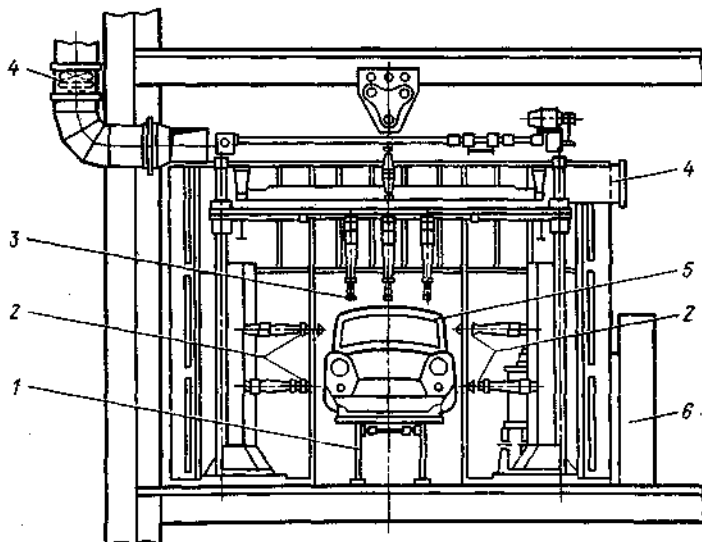


Рис. 20.5. Установка для окраски кузова в электростатическом поле:

1— транспортер; 2— боковые краскораспылители; 3— верхние краскораспылители; 4— вентиляция; 5— кузов; 6— система управления

ста кузова или кабины, которые затем подвергают мокрому шлифованию.

Окраску отремонтированных кузовов и кабин выполняют методами воздушного (пневматического) и безвоздушного распыления, а также распылением в электрическом поле в основном меламиноалкидными эмалями горячей сушки МЛ-12, -152, -197. Эти эмали обладают хорошей декоративностью, атмосферостойкостью, твердостью и эластичностью, стойкостью к воздействию минерального масла, бензина и воды при нормальной температуре. Выбор метода окраски зависит от требований, предъявляемых к покрытию (класс покрытия), размеров и конфигурации кузова, а также организации производства и экономической целесообразности применения определенного метода.

Подробно способы окрашивания описаны в разделе 9.3.3.

Окраску кузовов и кабин выполняют с использованием установок ручного типа или в стационарных камерах. Все эти устройства действуют по одному принципу и оснаще-

ны аналогичным оборудованием. Для автоматической окраски кузовов и кабин используют стационарные установки (рис. 20.5).

В электрическом поле хорошо распыляются только те материалы, которые обладают определенными электрическими свойствами. Для достижения нужных значений удельного объемного сопротивления и диэлектрической проницаемости в краску вводят разбавители марки РЭ.

Для повышения производительности окрасочных работ и улучшения условий труда маляров широкое применение находят окрасочные модули на базе программируемых роботов. Для настройки робота на заданную программу окраски кузова, определенной геометрической конфигурации оператор вручную окрашивает расположенный перед роботом кузов, придавая при этом краскораспылителю все необходимые движения и «обучая» тем самым робота. Рука робота затем точно повторяет все движения оператора, какими бы сложными они не были. Окраска последующих кузовов осу-

ществляется уже без участия оператора в автоматическом режиме.

Расход лакокрасочных материалов (в кг)

$$P = \frac{100 S \delta \rho_k k}{q (1 - \eta)},$$

где  $S$  — площадь окрашиваемой поверхности,  $m^2$ ;  $\delta$  — толщина слоя покрытия, м;  $\rho_k$  — плотность лакокрасочного материала,  $kg/m^3$  (для меламиноалкидных эмалей  $1500 kg/m^3$ , для грунтов  $1800...2000 kg/m^3$ );  $k$  — число наносимых слоев одним видом лакокрасочного материала;  $q$  — сухой остаток лакокрасочного материала в исходной вязкости, % (для пневматического распыления 50 %);  $\eta$  — коэффициент потери материала на туманообразование, зависящий от способа нанесения (для пневматического распыления 0,4, для безвоздушного 0,15, для окраски окутанием 0,25, при окраске в электростатическом поле  $\eta = 0$ ).

#### Сушка лакокрасочных покрытий.

Сушка может быть *естественной* при комнатной температуре ( $18...23^\circ C$ ) и *искусственной* ( $60...175^\circ C$ ). Естественную сушку продолжительностью 2...48 ч проводят в отдельных хорошо отапливаемых и вентилируемых помещениях при полном отсутствии пыли, копоти и влаги. При отсутствии циркуляции воздух насыщается парами растворителей и процесс сушки замедляется. Естественная сушка применяется для кузовов и кабин, окрашенных быстросохнущими нитроцеллюлозными, нитроглифталевыми и перхлорвиниловыми эмалями. Сушку считают законченной, если при прикосновении к окрашенной поверхности в течение 5...6 с на ней не остается следов.

Искусственная сушка в зависимости от способа передачи тепла бывает *конвекционная* и *терморрадиационная*. Первая заключается в нагревании окрашенных поверхностей горячим воздухом или продуктами сгорания в специальных камерах. Такая сушка приводит к образованию поверхностной пленки, препятствующей высыханию нижних

слоев и испарению из слоя краски растворителя. Пары испаряющегося в процессе сушки растворителя приводят к разрушению покрытия и образованию пор.

Терморрадиационная сушка представляет собой сушку инфракрасными лучами, сущность которой состоит в поглощении такого излучения металлической поверхностью кузова. Лучи, проникая через слой лакокрасочного покрытия, достигают металлической поверхности кузова и нагревают его вследствие перехода лучистой энергии в тепловую. При этом возникает перепад температуры между внутренней поверхностью покрытия, соприкасающейся с металлом, и наружной, где температура ниже. Разность температур по толщине покрытия способствует быстрому испарению растворителя, и процесс полимеризации в этом случае начинается с внутренних слоев покрытия.

Интенсивная передача тепла от источников нагрева к окрашиваемой поверхности и лучшие условия пленкообразования за счет передачи тепла от внутренних слоев краски к наружным приводят к тому, что терморрадиационная сушка протекает в 4...15 раз быстрее конвекционной. Время сушки покрытий зависит от толщины металлического листа, цвета покрытия и расстояния от источника излучения (100—400 мм). Время сушки увеличивается при использовании более толстого листа металла. Наиболее быстро сохнут покрытия черного, коричневого, голубого и зеленого цветов, медленнее сохнут серые и бежевые. Белые покрытия при сушке инфракрасными лучами желтеют.

При сушке окрашенных кузовов и кабин расходуется тепло, которое затрачивается на нагрев металлической поверхности  $Q_1$ , нагрев краски и испарение растворителя  $Q_2$ , нагрев приточного воздуха и удаление паров растворителя  $Q_3$  (в Дж):

$$Q_1 = C_w M (t_k - t_n) K,$$

где  $CM = 500$  Дж/(кг·°С) — удельная теплоемкость материала кузова (стали);  $M$  — масса кузова или кабины, кг;  $t_k$  — температура сушки, град;  $t_n$  — начальная температура кузова, град;  $K = 0,7$  — коэффициент неравномерности нагрева;

$$Q_2 = (\rho_k V_k + \rho_p V_p) C_{\text{л.к.м}} (t_k - t_n) + \rho_p V_p L,$$

где  $V_k$  — объем слоя краски, нанесенной на окрашенную поверхность, м<sup>3</sup>;  $\rho_p$  — плотность растворителя, кг/м<sup>3</sup> (для ацетона 790 кг/м<sup>3</sup>);  $V_p$  — объем растворителя, необходимого для окраски, м<sup>3</sup>;  $C_{\text{л.к.м}}$  — средняя удельная теплоемкость лакокрасочного материала, Дж/(кг·°С) — ориентировочно 2100;  $L$  — удельная теплота парообразования, Дж/кг (ориентировочно для ацетона —  $6 \cdot 10^6$ );

$$Q_3 = \frac{\rho_p V_p}{\rho_n} C_v (t_k - t_n),$$

где  $\rho_n$  — предельно допустимая концентрация паров растворителя в 1 м<sup>3</sup> воздуха, кг/м<sup>3</sup> (0,6 г/м<sup>3</sup> для сольвента/нафты от верхнего предела взрываемости);  $\rho_n \approx 1,2$  кг/м<sup>3</sup> — плотность воздуха при температуре 20 °С;  $C_v \approx 1005$  Дж/(кг·°С) — удельная теплоемкость воздуха.

Общий расход тепла на сушку

$$Q_{\text{общ}} = K_n (Q_1 + Q_2 + Q_3),$$

где  $K_n \approx 1,2$  — коэффициент, учитывающий потери тепла на нагрев воздуха помещения, стен камеры, а также потери в воздухопроводах.

**Контроль качества нанесенного покрытия.** Качество окраски кузовов зависит от тщательности подготовки поверхности под окраску, грунтования, шпатлевания, шлифования и собственно окраски. Поверхность, подготовленная под окраску, должна быть чистой, без следов коррозии и жировых загрязнений. Грунтовое покрытие после сушки должно иметь матовую поверхность, без потеков, наплывов и не давать отлипа. Слой шпатлевки должен быть по возможности тонким и после шлифования зашпаклеванные поверхности должны иметь плавные переходы к основному металлу кузова. Контроль окончательно окрашенных кузовов и кабин включает проверку внешнего вида и разнооттенности поверхности,

наличия должного блеска для глянецовых покрытий, отсутствия «шагрени», отдельных рисок и штрихов, потеков и волнистости.

Толщину лакокрасочных покрытий определяют измерителем толщины ИТП-1. Действие прибора основано на изменении силы притяжения магнита к ферромагнитной подложке в зависимости от толщины немагнитной пленки. При изменении силы притяжения меняется удлинение пружины на шкале, по показаниям которой определяют толщину покрытия. Контроль правильности работы прибора выполняют по эталонам толщин. Электронным прибором МТ-41-НЦ осуществляют также контроль толщины покрытий на намагничиваемой основе, а прибором ВТ-30-НЦ — на ненамагничиваемой основе.

**Сборка кузовов и кабин после окраски.** При сборке монтируются все отремонтированные составные части в соответствии с техническими требованиями на ремонт в той же последовательности, что и сборка нового автомобиля. Меняются лишь организационные формы сборки, которые определяются годовой программой, трудоемкостью и сложностью конструкции кузова. Особое внимание при сборке уделяют мероприятиям, снижающим шум и вибрации в салоне автомобиля. Сюда относят нанесение на внутреннюю поверхность кузова противозумных мастик, уплотнение зазоров собираемых деталей путем установки резиновых прокладок, установку обивки и звукопоглощающих ковриков внутри салона и др.

**Контроль качества ремонта.** При проверке кузова и кабины контролируют на геометрическое соответствие расположения точек основания, к которым крепятся агрегаты автомобиля (базовые точки), а также на пыленепроницаемость и герметичность. Контроль базовых точек основания кузова выполняют на стационарных контрольно-измерительных стендах или с помощью подвесных

линеек. Герметичность собранного кузова или кабины проверяют в дождевальными установках при давлении 0,2 МПа в течение 6 мин. Проникно-

вание воды в салон недопустимо. При этом проверяют также образование конденсата в приборах освещения и сигнализации.

## Глава 21

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ

#### 21.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Проектирование технологических процессов ремонта деталей является одним из этапов технологической подготовки ремонтного производства. При этом ставятся как общие, так и частные задачи. Общая задача — создание оптимального технологического процесса по какому-либо (чаще всего экономическому) критерию оптимальности. В качестве частных задач ставится выбор способов обработки отдельных поверхностей и всей детали в целом, подбор необходимого оборудования, оснастки, инструмента для обработки и контроля деталей, установление рациональных режимов обработки и технических норм времени. Так же как для технологических процессов изготовления, стандартом предусмотрено три вида технологических процессов ремонта: единичный, типовой и групповой. Однако содержание понятия типового технологического процесса в сфере ремонта имеет несколько иной смысл.

*Типовой технологический процесс ремонта* разрабатывается для класса деталей, обладающих конструктивно-технологической общностью на обобщенную по состоянию деталь ремонтного фонда. Обобщенной по состоянию деталью считается условная деталь, которая содержит все возможные устраняемые дефекты, встречающиеся у множества деталей данного класса. Кроме того, каждый вид технологического процесса ремонта характеризуется некоторыми признаками: основным назначением процесса, степенью детализации содержания, формой организации.

В ремонтном производстве различают следующие формы организации технологии ремонта деталей: подефектная, маршрутная и принудительная ремонтная технология. *Подефектная технология* предполагает разработку технологических процессов на устранение каждого дефекта в отдельности. Это обстоятельство вынуждает применять для ремонта одной детали несколько технологических процессов и не обеспечивает рациональной последовательности технологических операций.

Под *маршрутной формой* в данном случае организации технологии понимается технология ремонта деталей, осуществляемая в заранее предусмотренной последовательности выполнения технологических операций в отличие от подефектной формы. И в свою очередь маршрутная технология может разрабатываться с различной степенью детализации: на уровне маршрутной, операционной или маршрутно-операционной карты.

При маршрутной технологии технологические процессы ремонта деталей разрабатываются на определенные группы сочетаний дефектов. Последовательность технологических операций, направленная на устранение определенного комплекса дефектов, называется *технологическим маршрутом*. Направление детали для ремонта по определенному технологическому маршруту приводит к принудительному устранению комплекса дефектов, и степень соответствия фактического сочетания дефектов на детали составу технологического маршрута во многом определяет уровень эффективности ремонта.

*Принудительная технология* является частным случаем маршрутной, если имеется только один маршрут. В этом случае все детали, подлежащие ремонту, обрабатываются по одному технологическому процессу с одним технологическим маршрутом, включающим в себя операции устранения всех дефектов. Наиболее часто данная форма используется при централизованном ремонте деталей, при ремонте на поточных линиях.

Характерной особенностью ремонтного производства является полимаршрутность технологических процессов ремонта. В отличие от процесса изготовления, при котором состояние заготовки и детали практически детерминировано и возможно использовать только один технологический маршрут, в процессе ремонта проявляется неопределенность состояния ремонтной заготовки. Из-за того что может быть значительное число состояний ремонтной заготовки, различающихся величиной необходимых затрат на ремонт, использование технологического процесса только с одним маршрутом может привести к большим непроизводительным потерям на устранение несуществующих дефектов.

В этом случае возникает необходимость на деталь одного наименования разрабатывать не один, а несколько технологических процессов ее ремонта. Каждый технологический процесс будет иметь свой технологический маршрут, предусматривающий устранение определенного комплекса дефектов у ремонтируемой детали по подразделениям предприятия. Если не увеличивать номенклатуру технологических процессов ремонта, то тогда можно рассматривать технологический процесс ремонта детали как один процесс, предусматривающий не один, а несколько технологических маршрутов, предназначенных для устранения различных комплексов дефектов у ремонтируемых деталей.

Под комплексом дефектов следует понимать совокупность дефектов,

устраняемых по отдельному технологическому маршруту, а совокупность дефектов, с которыми детали поступают на завод для ремонта, будем называть *сочетаниями дефектов*. Таким образом, особенностью разрабатываемого технологического процесса ремонта деталей является его *полимаршрутность*, означающая, что технологический процесс ремонта деталей может содержать не один, а несколько технологических маршрутов. Это вызывает необходимость определения оптимального числа технологических маршрутов для каждого технологического процесса ремонта детали, состава дефектов, входящих в соответствующие комплексы дефектов, устраняемых на каждом технологическом маршруте, перечень технологических операций в составе этого маршрута, последовательность их выполнения и оптимизации закрепления деталей ремонтного фонда с различными сочетаниями дефектов за технологическими маршрутами ремонта.

Целесообразность выбора формы организации технологического процесса, и в частности определение оптимального числа технологических маршрутов, в каждом конкретном случае основывается на оценке суммарных затрат на ремонт деталей при заданной программе. При этом должны быть учтены следующие составляющие затрат: технологическая себестоимость ремонта, затраты на технологическую подготовку производства, на дефектацию и сортировку, на создание межоперационных заделов, формирование партий запуска.

Обычно поиск оптимального числа технологических маршрутов ремонта детали идет от большего числа к меньшему. Сократить число маршрутов можно за счет объединения нескольких сочетаний дефектов в один маршрут. Это объединение может происходить как по признаку технологической взаимосвязи устраняемых дефектов, так и по критерию минимального роста непроизводительных затрат.

Основным критерием, по которому определяется степень детальности проработки технологического процесса, является тип производства. Для массового и серийного производства степень проработки всех логических и расчетных элементов более детализирована, для единичного укрупнена. Фактически это означает, что для единичного производства технологические процессы разрабатываются, как правило, в маршрутном описании, в то время как для серийного и массового — в операционном и маршрутно-операционном.

Одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций

$$K_{з.о} = N_o / N_{р.м.},$$

где  $N_o$  — число всех технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца;  $N_{р.м.}$  — число рабочих мест.

В зависимости от типа производства этот коэффициент принимает следующие значения: массовое 1, крупносерийное 1...10, среднесерийное 10...20, мелкосерийное 20...40, единичное свыше 40.

Для обеспечения высокого уровня качества ремонта и повышения производительности труда целесообразно рабочие технологические процессы разрабатывать на основе типовых технологических процессов, которые разрабатываются заводом-изготовителем или специализированной организацией по заданию завода-изготовителя. В связи с флуктуацией состояния деталей ремонтного фонда типовой технологический процесс разрабатывается для ремонта *условной детали*, которая так названа потому, что в действительности она может и не встретиться среди множества изношенных деталей, но дефекты, которые она содержит, обязательно в разных сочетаниях будут встречаться. При разработке типового технологического процесса ремонта детали в основном руководствуются ЕСТПП с учетом особенностей образования

обобщенной по составу дефектов условной детали.

В отличие от изготовления деталей организация маршрутов их ремонта в ремонтном производстве представляет собой более сложную задачу. В частности, это обуславливается необходимостью дополнительного учета вероятностных свойств деталей ремонтного фонда. С этой целью, прежде чем приступить к разработке технологического процесса, изучается состояние деталей ремонтного фонда в объеме *представительной выборки*. По результатам изучения состояния деталей ремонтного фонда устанавливаются встречающиеся на деталях фактические сочетания дефектов и соответствующие им статистические вероятности. Несмотря на то что теоретическое число возможных сочетаний дефектов на деталях может быть больше, фактически их оказывается значительно меньше. Сведения о вероятностных закономерностях состояния деталей ремонтного фонда являются необходимыми данными при формировании технологических маршрутов. При заданном годовом объеме производства ремонтного предприятия маршрутные коэффициенты являются базой при определении годовой программы ремонта деталей по каждому маршруту в технико-экономических расчетах.

Структурный коэффициент для генеральной совокупности является постоянной величиной и представляет собой вероятность появления деталей с признаком данной группы. Он является численной мерой степени объективной возможности появления данного признака. Структурные коэффициенты определяются статистическими исследованиями как частоты признака в представительной партии. Устойчивость частоты появления деталей с определенным признаком проявляется в том, что ее значения для представительных объемов деталей изменяются в узких пределах.

Численность групп деталей с различными признаками определяется пропорционально их структурным коэффициентам, например в объеме месячного задания число деталей данного наименования, подлежащих замене, ремонту и годных без ремонта, определяют как:

$$N_z = K_z N; N_p = K_p N; N_r = K_r N,$$

где  $N$  — месячный объем производства;  $K_z$ ,  $K_p$ ,  $K_r$  — структурные коэффициенты соответственно замены, ремонта и годности.

Проектирование технологических процессов ремонта деталей имеет целью установить наиболее рациональные и экономичные способы обработки детали при обеспечении выполнения требований, предъявляемых к точности обрабатываемых поверхностей, расположению осей и поверхностей, правильности форм и контуров, обуславливающих нормальную работу собранного изделия.

Основные направления в проектировании технологических процессов определяют на основе изучения патентных материалов, обзоров отечественного и зарубежного опыта ремонта аналогичных деталей, действующих технологий с учетом таких основных направлений развития современной технологии, как:

интенсификация технологических процессов и повышение производительности труда, сокращение сроков технологической подготовки производства путем использования типовых технологических процессов, типовой оснастки и современных вычислительных средств;

применение электрофизических, электрохимических и других прогрессивных методов обработки материалов;

применение автоматизированного проектирования технологических процессов, обеспечивающего сокращение трудоемкости технологических разработок, облегчение труда технологов и оптимизацию проектируемых технологических процессов по различным целевым функциям (трудоем-

емкости или себестоимости, точности обработки и др.) и направленного на повышение качества и экономической эффективности проектируемой технологии.

Процедура проектирования технологического процесса ремонта включает в себя 11 основных этапов.

**1. Анализ исходных данных для разработки технологического процесса.** Производится предварительное ознакомление с назначением и конструкцией предмета труда, технологией его изготовления, с требованиями к изготовлению, ремонту и эксплуатации. Исходной информацией для данного этапа служат:

производственная программа ремонта детали, по которой определяется тип производства;

рабочий чертеж детали для анализа технических требований на параметры детали;

технологический процесс изготовления детали, позволяющий обеспечить преемственность технологии, облегчить выбор баз;

сборочный чертеж узла, в который входит деталь;

ремонтный чертеж детали;

информация о состоянии деталей ремонтного фонда (перечень встречающихся дефектов, характер повреждений, вероятности появлений дефектов и их сочетаний);

указания о применимости технологических способов устранения дефектов;

информация о наличии оборудования, степени его загрузки, руководящие материалы, информация о передовом опыте.

Анализ технических требований производят исходя из служебного назначения детали, на основании его чертежа. При отсутствии на чертеже технических требований необходима их разработка. При этом устанавливается, в какой мере то или иное требование соответствует правильному выполнению деталью ее служебного назначения, а также что произойдет в случае несоблюдения тех или иных требований. При необхо-

Форма 21.1. Данные о состоянии ремонтного фонда

Номер дефекта	Сочетание дефектов	Вероятность появления сочетания
1	$x_1$	$p_1$
2	$x_1 x_2$	$p_2$
...	...	...
$n$	$x_1 x_2 \dots x_n$	$p_n$

димости для решения возникающих задач привлекают методы теории размерных цепей.

Должны быть сформированы требования к состоянию ремонтного фонда. На основе информации о вероятностях появления дефектов и их сочетаний, а также принятой формы организации технологии ремонта определяется комплекс дефектов, для устранения которых будет разрабатываться данный технологический процесс.

Одной из специфических процедур при проектировании технологических процессов ремонта является анализ состояния деталей ремонтного фонда. Анализ проводится с целью выявления вероятностей появления различных дефектов на детали, их сочетаний и взаимосвязи между дефектами.

На первом этапе анализа производится выявление всех дефектов, которые могут появиться на детали и их кодирование. Обычно дефектам присваивают обозначения типа  $D_1, D_2, \dots, D_n$  или  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . После кодирования дефектов выбираются средства контроля и разрабатываются *альтернативная карта* и, если это необходимо, микрометражная карта. Средства контроля выбираются согласно государственному стандарту предельно допустимой погрешности. *Альтернативная карта* представляет собой таблицу, в которой содержится информация о наличии дефектов на партии деталей ремонтного фонда.

*Альтернативная карта* заполняется в процессе контроля партии деталей ремонтного фонда. При этом каждой отдельной детали соответ-

ствует одна строка альтернативной карты, и в случае наличия на детали дефекта в соответствующий столбец записывается единица.

На основе альтернативной карты возможно получение оценок вероятностей появления дефектов и их сочетаний. Оценку вероятности появления отдельного дефекта можно произвести, разделив сумму единиц в соответствующем столбце на объем контролируемой партии. Оценка вероятностей появления сочетаний производится аналогичным образом, с учетом совместного появления дефектов. Особое внимание следует обращать на то, чтобы объем контролируемой партии был репрезентативным.

На основе данных, полученных из альтернативной карты, составляется таблица, в которую заносятся характеристики состояния ремонтного фонда (форма 21.1). В дальнейшем на основе этой таблицы могут быть получены коэффициенты взаимосвязи между отдельными дефектами, а также может быть произведена оптимизация числа технологических маршрутов ремонта.

**2. Выбор действующего типового, группового технологического процесса или поиск аналога единичного процесса.** При наличии типового технологического процесса ремонта данной детали, разработанного предприятием-изготовителем или специализированной организацией по его заданию, в дальнейшем его используют для определения рационального маршрута обработки, выбора оборудования, инструмента и оснастки, для нормирования.

Необходимым условием выбора типового или группового технологического процесса ремонта детали является определение классификационного кода данной детали в принятой системе классификации. Как правило, используются системы классификации, основанные на анализе геометрической формы, числа и расположения поверхностей, размеров детали.



**3. Выбор ремонтной заготовки и технологических методов устранения дефектов.** На базе требований к состоянию ремонтного фонда формируются условная ремонтная заготовка, имеющая все дефекты, устраняемые по данному технологическому процессу. Выбор технологических методов производится на основе экономического анализа применения этих методов для конкретных производственных условий. Выбор методов обработки имеет целью обеспечить наиболее рациональный процесс обработки. В зависимости от требований, предъявляемых к точности размеров, формы, расположения и параметров шероховатости поверхностей детали с учетом ее размеров, массы, конфигурации, типа производства выбирают один или несколько возможных методов обработки и тип соответствующего оборудования.

Необходимая шероховатость обработанных поверхностей в ремонтном производстве достигается преимущественно механической обработкой. При выборе метода обработки следует также обратить внимание на применение таких прогрессивных методов, как электрохимический, ультразвуковой, обработка лазером, отделочные работы с применением режущих инструментов на основе синтетических сверхтвердых материалов. Выбор конкретного метода обработки производят с помощью таблиц средней экономической точности различных методов механической обработки. Под средней экономической точностью понимают средние значения отклонений размеров деталей от номинальных, полученные в нормальных производственных условиях. Средняя экономическая точность представляет собой так называемую погрешность технологической системы  $\omega_{т.с.}$ , т. е. системы СПИД.

Сопоставляя технологические возможности различных методов обработки исходя из обеспечиваемой ими средней экономической точности, выбирают методы предварительной и окончательной обработки, обеспечи-

вающие заданные значения параметров точности детали.

**4. Выбор методов и средств технического контроля качества.** При разработке технологического процесса должны быть предусмотрены как операции контроля, так и элементы контроля, входящие в операции механической обработки, а также вспомогательные операции очистки и промывки деталей, предшествующие операциям контроля. Методы и средства контроля выбирают на стадии анализа и разработки технических требований к детали.

Для правильного выбора методов и средств контроля необходима обязательная оценка влияния погрешности измерения на результаты контроля. Используя справочные материалы, выбирают такой измерительный инструмент или прибор, предельная погрешность измерения которого не превышает допустимую погрешность измерения.

При выборе измерительных средств нужно также учитывать экономические показатели: себестоимость; время, затрачиваемое на настройку и измерение; надежность и стабильность работы; продолжительность работы до ремонта.

**5. Выбор технических баз и схем установки.** При этом пользуются следующими общими положениями: в качестве ремонтных баз рекомендуется выбирать поверхности, служившие базами при изготовлении и не подвергавшиеся воздействиям в процессе эксплуатации;

при прочих равных условиях наибольшая точность обработки достигается при использовании на всех операциях одних и тех же баз, т. е. соблюдение принципа единства баз; желательно совмещать технологические базы с измерительными базами; при этом погрешность базирования  $\omega_6$  равна нулю;

базы, используемые на операциях окончательной обработки, должны отличаться наибольшей точностью; при отсутствии у ремонтной заготовки надежных технологических баз

(или при утрате их в процессе эксплуатации) можно создавать искусственные базы, включив при необходимости дополнительные операции; выбранные технологические базы совместно с зажимными устройствами должны обеспечить правильное базирование и надежное закрепление заготовки.

Выбор технологических баз должен сопровождаться расчетами погрешностей базирования, что является основой для обоснования выбора схемы установки. При выполнении последнего перехода на данной операции сумма  $\omega_b + \omega_{т.с}$  не должна превышать допуска  $T$  на размер детали по рабочему чертежу.

**6. Разработка маршрута технологического процесса.** Маршрут обработки детали устанавливает последовательность выполнения технологических операций. При этом руководствуются следующими соображениями:

в первую очередь следует обрабатывать поверхности, которые послужат базами для дальнейшей обработки;

последовательность операций устанавливается в зависимости от требуемой точности поверхности: чем точнее должна быть поверхность, тем позднее она должна обрабатываться;

оптимальный вариант маршрутного технологического процесса выбирают на основе сопоставления нескольких конкурирующих вариантов технологического процесса.

Выбор наилучшего варианта основывается на сравнении следующих показателей;

число, сложность и стоимость технологического оборудования и оснастки;

сложность технологической подготовки производства, длительность цикла технологической подготовки; продолжительность производственного цикла.

**7. Разработка технологических операций.** Выбор структуры операций и рациональной последовательности переходов тесно связан с выбо-

ром оборудования и технологической оснастки. Выбор оборудования зависит от конструктивных особенностей и размеров деталей, технических требований, определяющих параметры точности, технологических возможностей выпускаемого оборудования, экономической целесообразности применения специального оборудования.

Решающим фактором при выборе того или иного станка (при условии соблюдения технических требований) является экономичность процесса обработки. Для проведения технико-экономического сравнения необходимо сделать полный расчет основной заработной платы производственных рабочих и цеховых накладных расходов по данной детали.

Выбор оборудования производят по главному параметру, являющемуся наиболее показательным для выбираемого оборудования, т. е. в наибольшей степени выявляющему его функциональное назначение/и технические возможности. При наличии нескольких вариантов возможного оборудования лучшим считается то, у которого приведенные затраты на выполнение работ минимальны.

Годовая потребность в оборудовании определяется из годового объема работ. Производительность оборудования надо определять на основании анализа времени обработки до достижения заданного качества.

При выборе технологической оснастки осуществляется следующий комплекс работ:

анализ характеристик рассматриваемой детали (габаритные размеры, материал, точность, конструктивные характеристики поверхностей и т. д.);

анализ организационных и технологических условий обработки изделий (схемы базирования, вид технологической операции, форма организации технологического процесса и т. п.);

группирование технологических операций с целью определения наиболее приемлемой системы технологической оснастки и повышения

коэффициентов использования оснастки;

установление принадлежности выбираемых конструкций оснастки к системам оснастки;

определение исходных требований к технологической оснастке;

отбор конструкций оснастки, соответствующих установленным требованиям из имеющейся номенклатуры;

определение исходных расчетных данных для проектирования специальной оснастки;

разработка и изготовление специальной оснастки.

При выборе систем оснастки учитывают плановые сроки и трудоемкость освоения ремонта деталей, планируемую продолжительность действия технологического процесса, организационные формы производства в периоды освоения и выпуска.

**8. Нормирование технологического процесса.** При этом решаются следующие задачи:

расчет и нормирование затрат труда на выполнение процесса;

расчет норм расхода материалов, необходимых для реализации процесса;

определение разряда работ и обоснование профессий исполнителей для выполнения операций в зависимости от сложности этих работ.

В зависимости от конкретных производственных условий определение технически обоснованных норм времени на операцию производится тремя методами:

расчетом отдельных составляющих нормы времени по нормативам (расчетный метод);

сравнением и расчетом нормы времени по укрупненным нормативам (метод сравнения и расчета по типовым нормам);

наблюдением и хронометражем затрат рабочего времени непосредственно на рабочем месте (исследовательский метод).

Расчетный метод является основным методом определения обоснованных технических норм времени в крупносерийном и массовом произ-

водстве. В мелкосерийном и единичном производстве, когда часто меняются объекты производства, используется метод сравнения и расчета по типовым нормам. Для этих типов производств разработаны соответствующие методики и укрупненные нормативные материалы, позволяющие рассчитывать нормы по составным частям. Укрупненные нормативы обычно разрабатывают на обработку поверхности определенных размеров, для различных видов и методов обработки.

В ремонтном производстве используется ряд специфических работ, таких как сварочные, сварочно-наплавочные, металлизационные, гальванические и др.

Рассмотрим для примера процесс нормирования ручных электросварочных работ. Технически обоснованная норма времени на сварочные и наплавочные работы разрабатывается на основе:

рационального технологического процесса, обеспечивающего заданный уровень производительности труда и качества продукции, с использованием соответствующего оборудования, оснастки и наиболее выгодных режимов процесса;

выполнения работ сварщиком соответствующей квалификации с использованием передового опыта;

рациональной организации и комфортных условий труда и обслуживания рабочего места всем необходимым для ритмичной и бесперебойной работы.

Техническая норма времени на выполнение ручных электросварочных работ в условиях серийного производства (в мин)

$$t_{шк} = [(t_0 + t_{в.1})LK_p K_d + t_{в.2}]K_1 K_2,$$

где  $t_0$  — основное время на разогрев и плавление основного и присадочного металла и на формирование 1 пог. м шва (валика), т. е. время непосредственного горения дуги, мин/пог. м;  $t_{в.1}$  — вспомогательное время, связанное с контролем и очисткой шва (валика) и со сменой электрода (состоит из времени,

необходимого для очистки и контроля свариваемых швов, и времени на смену электрода), мин/пог. м;  $K_p$  — поправочный коэффициент на пространственное расположение шва;  $K_d$  — поправочный коэффициент на длину шва;  $L$  — длина шва (валика), м;  $t_{в.2}$  — вспомогательное время, связанное с установкой восстанавливаемой детали, мин;  $K_1$  — коэффициент, учитывающий время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности рабочего;  $K_2$  — коэффициент, учитывающий подготовительно-заключительное время.

Для однослойной сварки (наплавки)

$$t_o = \frac{60g}{\alpha_n I} = \frac{60F\gamma}{\alpha_n I},$$

где  $g$  — масса расплавленного металла шва (валика), г/пог. м;  $F$  — площадь поперечного сечения шва (валика), мм<sup>2</sup>;  $\gamma$  — удельная масса расплавленного металла, г/см<sup>3</sup>;  $I$  — сила сварочного тока, А;  $\alpha_n$  — коэффициент наплавки, г/(А·ч).

Полученное таким образом  $t_{шк}$  может быть использовано для определения нормы выработки

$$i_{выр} = T_{см}/t_{шк},$$

где  $T_{см}$  — продолжительность смены.

Определение разряда работ и обособление профессий исполнителей для выполнения операций в зависимости от сложности этих работ производится на основе тарифно-квалификационных характеристик рабочих соответствующих профессий.

**9. Определение требований техники безопасности.** На основе стандартов ССБТ и инструкций по технике безопасности и производственной санитарии производится разработка и выбор требований к условиям производства (шуму, вибрации, радиации, загазованности, опасным и вредным веществам в воздухе рабочей зоны и т. п.). В обязательном порядке производится разработка требований, выбор методов и средств обеспечения устойчивости экологической среды.

**10. Расчет экономической эффективности технологического процесса, выбор оптимального варианта. В тех**

случаях, когда технологические процессы ремонта деталей разрабатывают многовариантно, выбирают из числа возможных вариантов наиболее эффективный, т. е. такой, который обеспечивает в заданных производственных условиях ремонт деталей с достижением требуемого качества в требуемом количестве при наименьших затратах.

При экономическом анализе вариантов технологического процесса српоставляют себестоимость обработки по каждому из сравниваемых вариантов. Однако наименьшая себестоимость не всегда является единственным критерием оценки эффективности выбираемого варианта. Иногда следует сопоставлять их не только по себестоимости ремонта детали, но и по капиталоемкости.

**11. Оформление технологических процессов.** Сущность данного этапа заключается в оформлении технологической документации в соответствии с ЕСТД, проведении нормоконтроля документации, согласовании ее со всеми заинтересованными службами.

При разработке технологических процессов ремонта возникает необходимость комплексного подхода с целью наиболее полного учета всех особенностей ремонтного производства. Комплексность в этом случае проявляется в учете основных факторов, влияющих на процесс ремонта, а именно технических, экономических и экологических аспектов. Взаимная увязка и анализ по этим трем направлениям позволяют разработать технологический процесс, обеспечивающий требуемое качество ремонта при сохранении экономической целесообразности и экологической безвредности. Частным случаем комплексного подхода к разработке технологии ремонта является разработка так называемой *сбалансированной технологии*, обеспечивающей нормативный уровень качества ремонта при условии, что затраты на ремонт не превышают предельно допустимого значения.

Критерием качества ремонта в этом случае является условие обеспечения по каждой отдельной детали или ее поверхности нормативного послеремонтного ресурса, а численной характеристикой — скорость накопления повреждения, которая может быть выражена, например, как интенсивность изнашивания поверхности или в вероятностном виде.

Для определения величины предельно допустимых затрат на ремонт проектирование технологического процесса должно начинаться с установления лимитной цены на отремонтированную деталь с учетом народнохозяйственной и хозрасчетной эффективности ремонта. Далее определяются необходимые производственные затраты (составляющие себестоимость на различных участках производства). Разница в лимитной себестоимости ремонта и суммы затрат, не приходящихся непосредственно на ремонт детали, и будет предельно допустимыми затратами на ремонт одной детали (для централизованного ремонта) или совокупности деталей сборочной единицы.

Для случая ремонта  $i$ -й детали в составе сборочной единицы предельно допустимые затраты

$$[Z_{p,i}] = \frac{U_{кр,л} \omega_p}{1 + \frac{H_p}{100}} \frac{U_{н,i}}{\sum_i U_{н,i}}$$

где  $U_{кр,л}$  — лимитная цена отремонтированной сборочной единицы;  $\omega_p$  — доля затрат на ремонт всех деталей сборочной единицы в полной себестоимости ее ремонта;  $H_p$  — норматив рентабельности, %;  $U_{н,i}$  — оптовая цена детали  $i$ -го наименования;  $n$  — число деталей сборочной единицы, подвергаемых ремонтным воздействиям.

На основе значения предельно допустимых затрат на ремонт детали возможно определение совокупности состояния ремонтного фонда, подлежащего ремонту, не только по критерию технологической возможности ремонта, но и по условию обеспече-

ния экономической эффективности ремонта детали.

Данный подход к формированию технологических процессов ремонта позволяет практически исключить влияние ремонтного фонда на неопределенность затрат и качество ремонта, так как затраты на ремонт по всем видам ремонтных работ увязаны между собой, а их сумма будет меньше или равна предельно допустимым расчетным затратам. Качество ремонта должно обеспечиваться технологией, отобранной по критерию требуемого качества.

## 21.2. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ

При технологической подготовке ремонтного производства важной задачей является формирование из всей совокупности возможных состояний ремонтного фонда группы технологических маршрутов. Эта процедура вызвана тем, что разработка технологического процесса на каждое фактическое сочетание дефектов, как правило, нецелесообразна.

Число технологических маршрутов — один из основных факторов, определяющих эффективность производственного процесса ремонта детали. Так, например, необоснованное увеличение числа технологических процессов приводит к следующим издержкам:

увеличивается время формирования партии заданного объема, что приводит либо к увеличению потребности в складских помещениях и к исключению из производства части оборотных средств, либо к тому, что размеры партий оказываются малы для организации их восстановления на специализированных рабочих местах с применением методов крупносерийного производства;

усложняется организация и управление производственным процессом;

возрастает степень неопределенности поступления деталей на комп-

лектовочный склад, что затрудняет учет;

в большей степени проявляется воздействие флуктуации состояния ремонтного фонда на ритмичность производства;

усложняются дефектовочные работы, увеличивается число ошибок маршрутизации;

возрастает трудоемкость технологической подготовки производства, затрудняется внедрение технологических процессов.

С другой стороны, при сокращении числа технологических маршрутов возрастают непроизводственные потери от устранения дефектов, отсутствующих на конкретной детали, при ее прохождении по технологическому маршруту. Эти потери

$$P_R = \sum_i^R C_i K_i - \sum_i^M S_j P_j,$$

где  $R$  — число технологических маршрутов;  $C_i$  — себестоимость ремонта детали по  $i$ -му маршруту;  $K_i = N_i/N$  — маршрутный коэффициент;  $N_i$  — число деталей, отремонтированных за месяц по  $i$ -му технологическому маршруту;  $N$  — месячная программа ремонта детали;  $M$  — число действительных сочетаний дефектов на детали;  $S_j$  — себестоимость устранения  $j$ -го сочетания дефектов;  $P_j$  — оценка вероятности появления  $j$ -го сочетания дефектов.

Для каждого заданного числа технологических маршрутов можно составить определенное количество вариантов, различающихся признаками объединения сочетаний дефектов в эти маршруты. Для поиска варианта, обеспечивающего наибольшую эффективность, можно воспользоваться тремя методами.

**1. Использование ряда принципов, полученных анализом производственного процесса ремонта.** Можно выделить следующие принципы:

при наличии в числе состояний ремонтного фонда сочетаний дефектов, имеющих преобладающие вероятности появления по отношению к другим сочетаниям, рекомендуется формиро-

вать маршруты на базе этих сочетаний дефектов, объединяя их с менее вероятными, но близкими по составу дефектов;

при наличии между двумя дефектами сильной корреляционной связи рекомендуется все сочетания дефектов, включающих эти дефекты, объединять в один технологический маршрут. Так как появление дефекта является альтернативным событием, то теснота связи между дефектами  $x_i$  и  $x_j$  определяется коэффициентом сходства

$$A_{ij} = (P_{ij}P_{00} - P_{0i}P_{j0}) / (\delta_i \delta_j),$$

где  $P_{ij}$  — оценка вероятности появления дефектов  $x_i$  и  $x_j$  одновременно;  $P_{00}$  — оценка вероятности совместного непоявления дефектов  $x_i$  и  $x_j$ ;  $P_{0i}$ ,  $P_{j0}$  — оценки вероятностей появления дефектов  $x_j$  и  $x_i$  при отсутствии другого;  $\delta_i$ ,  $\delta_j$  — среднеквадратические отклонения дефектов  $x_i$  и  $x_j$ .

Значение коэффициента связи может лежать в диапазоне от  $-1$  до  $+1$ , где  $-1$  означает несовместимость появления дефектов,  $+1$  — взаимообусловленность, а  $0$  — независимость дефектов;

функциональная связь поверхностей детали предполагает необходимость включения в один и тот же маршрут как дефектов, устранение которых по отдельности не обеспечивает требуемую точность, так и дефектов, устранение одного из которых автоматически ведет к устранению другого;

при технологическом подобиі операций устранения различных дефектов в один маршрут объединяются дефекты, устранение которых производится по одинаковой технологии, и дефекты, устраняемые на одном рабочем месте.

Использование данного метода формирования технологических маршрутов имеет незначительную трудоемкость, однако требует высокой квалификации технолога и не гарантирует достижения оптимального распределения сочетаний дефектов по маршрутам.

**2. Метод последовательного сокращения числа технологических маршрутов.** В основе этого метода лежит итерационный процесс сокращения числа маршрутов от равного числу сочетаний дефектов до минимального числа маршрутов, при котором непроизводительные потери будут меньше или равны критерию эффективности ремонта.

На первой итерации каждому из  $m$  сочетаний дефектов назначается свой технологический маршрут. При исключении из системы маршрутов одного маршрута, как правило, с наименьшим маршрутным коэффициентом сочетания дефектов, устранявшиеся на этом маршруте, должны быть отнесены к одному из оставшихся маршрутов. Критерием выбора этого маршрута является прирост непроизводительных потерь  $\Pi(R)$ . Эти потери возникают вследствие несоответствия фактических сочетаний дефектов составу дефектов, устраняемых на маршруте. Так, например, при отнесении сочетания дефектов  $x_2x_4$  к маршруту, предусматривающему устранение дефектов  $x_1, x_2$  и  $x_3$ , в состав дефектов включается  $x_4$  и возникают потери:

$$\Pi(R) = C_4K_m + (C_1 + C_3)P_c,$$

где  $C_1, C_3, C_4$  — затраты на устранение дефектов  $x_1, x_3$  и  $x_4$  соответственно;  $K_m$  — маршрутный коэффициент маршрута  $x_1x_2x_3$ ;  $P_c$  — оценка вероятности появления сочетания дефектов  $x_2x_4$ .

После проведения этой процедуры маршрутный коэффициент маршрута  $x_1x_2x_3x_4$

$$K_m^{(R-1)} = K_m + P_c.$$

Последовательным сокращением числа маршрутов можно достичь заданного числа, причем на каждой итерации будет достигаться локальный минимум прироста непроизводительных затрат. Однако данное обстоятельство также не гарантирует оптимального распределения деталей по технологическим маршрутам.

Данный метод позволяет при помощи формализованного алгоритма

достичь хорошего приближения к оптимальному распределению, однако к его недостаткам следует отнести вычислительную сложность и отсутствие учета технологических факторов. Преодоление первого недостатка возможно при помощи вычислительной техники, для преодоления второго недостатка рекомендуется произвести предварительную обработку информации о состоянии ремонтного фонда на предмет поиска функциональной взаимосвязи элементов детали и технологической общности методов устранения различных дефектов, после чего использовать метод сокращения технологических маршрутов.

**3. Формирование технологических маршрутов ремонта детали методом прямого перебора.** В этом случае определение оптимального числа технологических маршрутов производится на основе выбора варианта распределения деталей ремонтного фонда по технологическим маршрутам, обеспечивающего минимальные затраты на ремонт. Перебор вариантов производится от числа маршрутов, равного числу сочетаний дефектов до одного маршрута.

Возможность использования данного метода обуславливается конечностью числа вариантов. При распределении  $m$  сочетаний дефектов по  $R$  маршрутам число вариантов

$$C_m^R = \frac{m!}{R!(m-R)!}.$$

Целевой функцией при оптимизации являются затраты на ремонт детали

$$\sum_i^K C_i K_i \rightarrow \min,$$

где  $C_i$  — затраты на ремонт детали по  $i$ -му технологическому маршруту;  $K_i$  — маршрутный коэффициент  $i$ -го маршрута.

Этот метод позволяет достичь глобального минимума числа маршрутов, однако его использование возможно только с применением вычислительной техники.

## ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКТОВОЧНЫХ И СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

### 22.1. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ СБОРКИ И РЕМОНТНЫЕ РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

Одними из массовых повреждений в эксплуатации являются изменения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей деталей, вызываемые изнашиванием и деформацией. Устранение этих повреждений при ремонте деталей непосредственно связано также и с восстановлением размерных цепей.

Специфической особенностью сборки при ремонте является то, что сборочная единица формируется из разных структурных групп качества (новых, отремонтированных, изношенных с допустимыми отклонениями размеров от номинала) деталей. В этой связи возникает ряд инженерных задач, которые связывают проблему качества ремонта с состоянием деталей и затратами на ремонт. В связи с тем что подобных задач много, а воспользоваться для их решения широко известной теорией размерного анализа не представляется возможным из-за их специфики, возникла потребность рассмотрения методов обеспечения точности сборки при ремонте и анализа плоских ремонтных цепей.

С помощью ремонтных размерных цепей корректируются номинальные размеры, значения и координаты середины полей допусков и предельные отклонения всех составляющих размерную цепь звеньев и замыкающего звена. В первом случае решается прямая задача, когда известны значение замыкающего звена и его точные параметры. Во втором случае решается обратная задача, когда по известным значениям составляющих размерную цепь звеньев определяются соответствующие значения размерных характеристик замыкающего звена.

При расчете ремонтных размерных цепей используется так же, как и

при расчете конструкторских размерных цепей, один из двух методов: максимума-минимума или вероятностный.

Первый используется для расчета допусков в размерных цепях, в которых должна обеспечиваться полная взаимозаменяемость деталей. Вероятностным методом рассчитываются допуски в размерных цепях, в которых по условиям производства целесообразно назначать более широкие допуски на составляющие звенья размерных цепей, допуская при этом некоторый риск образования брака на замыкающем звене. Чтобы предотвратить попадание бракованных изделий в эксплуатацию, предусматриваются соответствующие технологические операции, исключющие возможность выпуска бракованных объектов после ремонта.

Требуемая точность замыкающего звена ремонтной размерной цепи обеспечивается с помощью звеньев-компенсаторов и выбором метода достижения точности замыкающего звена. Рекомендуется при ремонте применять все методы, которыми пользуются при изготовлении изделий и дополнительно, или взамен некоторых из них, метод селективного регулирования (композицию методов групповой взаимозаменяемости и регулирования) и межгрупповой метод взаимозаменяемости.

Решению ремонтной размерной цепи предшествует статистический анализ состояния деталей ремонтного фонда, в результате которого определяются законы распределения, его параметры, коэффициенты относительного среднеквадратического отклонения и относительной асимметрии. Изучаются и принимаются технологические решения по восстановлению звеньев ремонтной размерной цепи, определяются допустимые износы поверхностей деталей, бывших



в эксплуатации, методы компенсации при восстановлении ремонтных размерных цепей. С учетом изложенного при определении допуска замыкающего звена по вероятностному методу ремонтная размерная цепь в общем виде будет определяться выражением

$$T_{\Delta}^2 \frac{1}{t_{\Delta}^2} = \sum_{i=1}^l \xi_{h,i}^2 \lambda_{h,i}^2 T_{h,i}^2 + \sum_{i=1}^f \xi_i^2 \lambda_i^2 T_i^2 + \sum_{i=j+1}^q \xi_{c,i}^2 \lambda_{c,i}^2 T_{c,i}^2 + \xi_k^2 \lambda_k^2 T_k^2 + \sum_{i=q+2}^{m-1} \xi_{b,i}^2 \lambda_{b,i}^2 T_{b,i}^2, \quad (22.1)$$

где  $t_{\Delta}$  — коэффициент, который принимается в зависимости от вероятности выхода изделий в брак (риска),  $\xi_i$  — передаточное отношение, которое для размерных цепей с параллельными звеньями равно  $+1$  для увеличивающихся звеньев и  $-1$  для уменьшающих;  $\lambda_i$  — коэффициент относительного среднеквадратического отклонения ( $\lambda_i = 2\sigma_i/\omega_i$ , где  $\omega_i$  — поле рассеяния  $i$ -го звена);  $i=q+2, \dots, m-1$  — число восстанавливаемых звеньев от  $(q+2)$  до  $(m-1)$ ;  $T_{h,i}$  — допуск с учетом допуска на износ  $i$ -го составляющего звена;  $l, f, q, m$  — соответственно число звеньев размерной цепи, используемых повторно без ремонта, новых деталей, сортируемых звеньев и общее число звеньев;  $T_i$  — допуск новой  $i$ -й детали, включаемой в размерную цепь из числа обязательно заменяемых на запасные части;  $T_{c,i}$  — исходный допуск сортируемого  $i$ -го звена, равный допуску новой детали или более ужесточенный;  $T_k$  — допуск компенсатора;  $T_{b,i}$  — допуск  $i$ -го восстанавливаемого составляющего звена размерной цепи.

В ремонтных размерных цепях в качестве  $T_{\Delta}$  принимается в зависимости от требуемой точности значение допуска замыкающего звена конструкторской размерной цепи, рассчитанное по чертежам завода-изготовителя, или допуск  $T_{h,\Delta}$ , включающий в себя и допустимое значение на износ замыкающего звена, если имеется запас по точности.

Ремонтная размерная цепь при расчете допуска замыкающего звена

по методу максимума-минимума определяется уравнением

$$T_{\Delta} = 2 \sum_{i=1}^l |\xi_{h,i}| T_{h,i} + 2 \sum_{i=l+1}^f |\xi_i| T_i + \sum_{i=j+1}^q \xi_{c,i} T_{c,i} + \xi_k T_k + \sum_{i=q+2}^{m-1} |\xi_{b,i}| T_{b,i}. \quad (22.2)$$

В этих двух равенствах левая часть является известной. Кроме того, многие составляющие звенья ремонтных размерных цепей также являются известными, так как они могут быть приняты исходя из требований качества, возможности технологии ремонта и экономической целесообразности.

В результате такого анализа ремонтной размерной цепи принимается решение о ее корректировке. Корректирование ремонтной размерной цепи может осуществляться применением селективного подбора составляющих звеньев, введением прецизионных жестких компенсаторов, расширением допуска замыкающего звена или ужесточением обработки восстанавливаемого звена. При этом компенсацию возможно осуществить любым одним или в любой совместной комбинации способом.

Если корректировка размерной цепи достигается за счет восстанавливаемых составляющих звеньев размерной цепи, то сумма допусков этих звеньев определяется равенствами:

$$\sum_{i=q+2}^{m-1} |\xi_{b,i}| T_{b,i} = T_{\Delta} - B_{\Delta} - Z_{B,M}, \quad (22.3)$$

$$\text{где } B_M = 2 \sum_{i=1}^l |\xi_{h,i}| T_{h,i} + 2 \sum_{i=l+1}^f |\xi_i| T_i + \sum_{i=j+1}^q |\xi_{c,i}| T_{c,i} + |\xi_k| T_k;$$

по вероятностному методу

$$\sum_{i=q+2}^{m-1} \xi_{b,i}^2 \lambda_{b,i}^2 T_{b,i}^2 \sim \sigma_b^2 t_{\Delta}^2 - Z_{B,B}, \quad (22.4)$$

$$\text{где } B_{\alpha} = \sum_{i=1}^l \xi_{h,i}^2 \lambda_{h,i}^2 T_{h,i}^2 + \sum_{i=l+1}^f \xi_i^2 \lambda_i^2 T_i^2 + \sum_{i=f+1}^q \xi_{c,i}^2 \lambda_{c,i}^2 T_{c,i}^2 + \xi_{\kappa}^2 \lambda_{\kappa}^2 T_{\kappa}^2.$$

Из числа восстанавливаемых составляющих звеньев выбирается одно (несколько), которое в дальнейшем используется в качестве увязывающего, т. е. звена-компенсатора, задачей которого является обеспечение равенства (22.3) или (22.4) после восстановления  $i$ -х восстанавливаемых звеньев. Допуски на восстанавливаемые звенья, кроме увязывающего, как правило, назначаются такими же, как при изготовлении. Допуск увязывающего звена рассчитывается по формулам:

по вероятностному методу

$$T_{B(r)} = \frac{1}{|\xi_{B(r)}| \lambda_{B(r)}} \sqrt{Z_{B.B} - \sum_{i=17+2}^{m-2} \xi_{B,i}^2 \lambda_{B,i}^2 T_{B,i}^2},$$

по методу максимума-минимума

$$T_{B(r)} = \frac{1}{|\xi_{B(r)}|} \left( Z - \sum_{i=q+2}^{m-2} |\xi_i \cdot m \cdot L| \right),$$

где  $T_{B(r)}$  — допуск восстанавливаемого увязывающего звена.

Сумма координат середин полей допусков восстанавливаемых звеньев:

$$\left. \begin{aligned} y &= \sum_{i=q+2}^{m-1} \xi_{B,i} E_{c.B,i} = E_{c\Delta} - y = W; \\ &+ \sum_{i=1}^l \xi_{h,i} E_{c.h,i} + \sum_{i=l+1}^f \xi_i E_{c,i} + \\ &+ \sum_{i=f+1}^q \xi_{c,i} E_{c.c,i} + \xi_{\kappa} E_{c,\kappa} \end{aligned} \right\} (22.5)$$

где  $E_{c.h,i}$  — координата середины поля допуска изношенного  $i$ -го звена с допустимыми отклонениями;  $E_{c,i}$  — то же нового  $i$ -го звена;  $E_{c.c,i}$  — то же сортируемого  $i$ -го звена (исходный или ужесточенный);  $E_{c,\kappa}$  — то же звена компенсатора.

Координаты середины полей допусков восстанавливаемых звеньев назначаются, а координата середины поля допуска увязывающего восстанавливаемого звена рассчитывается, используя соотношение (22.5):

$$E_{c.B(r)} = \frac{1}{\xi_{B(r)}} \left( W - \sum_{i=q+2}^{m-2} \xi_{B,i} E_{c.B,i} \right).$$

Верхнее предельное отклонение составляющих звеньев

$$ES_i = E_{c,i} + T_i/2;$$

нижнее предельное отклонение

$$Ei_i = E_{c,i} - T_i/2.$$

Методы обеспечения точности сборки позволяют за счет применения компенсаторов в отремонтированных сборочных единицах использовать детали повторно не только отремонтированные, но и некоторую часть изношенных деталей без ремонта и при этом достигнуть точности сборочного размера (зазора, натяга) на уровне нового изделия.

Рассмотрим обеспечение требуемой точности при ремонте применением сборки методом групповой взаимозаменяемости на примере соединения вал — отверстие (трехзвенной ремонтной размерной цепи).

Для определения исходной информации, установления теоретических зависимостей изучаются технические условия на сборку соединения и проводится статистические исследования. По результатам статистических исследований определяются законы распределения отклонений размеров от номинала, его параметры, устанавливается количество размерных групп, закон распределения отклонений размеров от номинала в пределах их группового изменения и т. п.

На рис. 22.1 приведена схема для расчета полей допусков по методу групповой взаимозаменяемости, а на рис. 22.2 распределение отклонений размеров валов и отверстий от номинала и параметры соединения. На рисунках приняты обозначения:  $T_{д.э.}$ ,

$T_{D_3}$  — допуски на износ рабочих поверхностей соответственно вала и отверстия в процессе эксплуатации сопряжения;  $ES_{lim}, et_{lim}$  — предельно допустимые отклонения: наибольшие для отверстия, наименьшие для вала (соответственно);  $S_{lim}$  — предельно допустимый зазор соединения, при достижении которого наступает предельное его состояние, и оно нуждается в ремонте.

Для того чтобы увеличить число повторно используемых деталей без ремонта, расширяются исходные допуски на размеры сопрягаемых деталей, что компенсируется введением предварительной сортировки деталей на размерные группы В пределах одноименной размерной группы сборка соединения осуществляется по методу полной или неполной взаимозаменяемости. В связи с этим комплектация соединения осуществляется не только номенклатурно, но и параметрически

Высокое качество ремонта соединения достигается благодаря обеспечению замыкающего звена трехзвенной размерной цепи значением, не превышающим максимального значения сборочного размера, установленного заводом-изготовителем, т. е. должно обеспечиваться соотношение

$$S_{max} = \hat{S}_{max1} = \hat{S}_{max2} = \hat{m}_{\hat{x}} > n \quad (22.6)$$

где  $S_{max}$  — максимальный зазор нового соединения,  $S_{maxn}$  — максимальный зазор  $n$ -й размерной группы отремонтированного соединения

$$S_{max} = ES - et, \quad S_{min} = EI - es$$

Минимальный зазор нового соединения  $\hat{S}_{min} < \hat{S}_{min1} = S_{minл}$

У отремонтированного соединения минимальный зазор  $i$ -й размерной группы

$$S_{mini} = EI_i - es_i = D_{mini} - d_{maxi}$$

Условие (22.6) может быть и другим, но для уяснения механизма обеспечения необходимой точности сборочного размера используем его. Для того чтобы сформировать некоторые

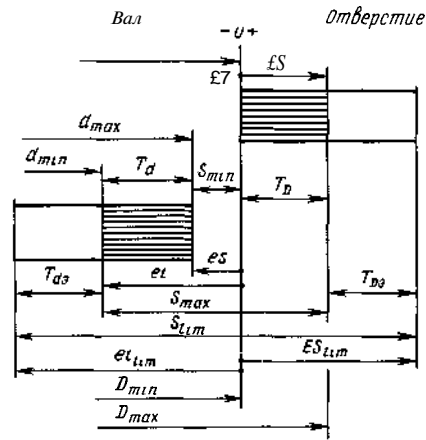


Рис 22.1 Схема расчета полей допусков трехзвенной размерной цепи по методу групповой взаимозаменяемости

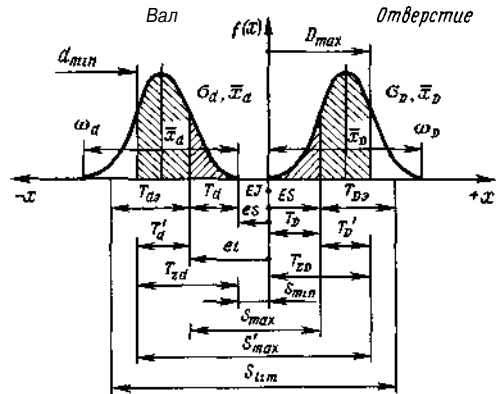


Рис 22.2 Распределение отклонений размеров отверстий и валов от номинала и параметры соединения

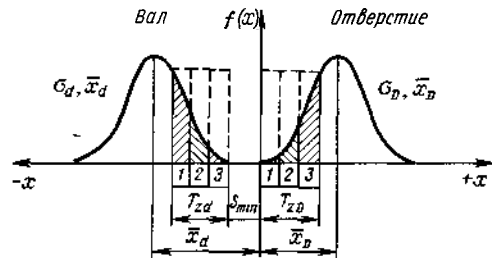


Рис 22.3 Схема для расчета вероятной доли деталей, поступающих на сборку после их эксплуатации

формулы для расчета параметров группового метода взаимозаменяемости, обратимся к анализу схемы на рис. 22.2 и рис. 22.3.

Первоначально рассмотрим задачу определения расширения допусков на диаметры отверстия и вала в зависимости от числа размерных групп, сохраняя при этом условие (22.6). Обращаясь к схеме на рис. 22.2, можно допуск сопряжения, установленный заводом-изготовителем при использовании метода полной взаимозаменяемости, вычислить, используя соотношение  $T_{\Delta} = S_{\max} - S_{\min} = T_D + T_d$ .

Для упрощения представления примем дополнительное условие, что расширенные допуски для отверстия и вала равны, т. е.

$$T_{z,D} = T_{z,d} = T_z, \quad (22.7)$$

тогда расширенный допуск соединения будет

$$T_{z,\Delta} = T_{z,D} + T_{z,d} = S'_{\max} - S_{\min},$$

где  $S'_{\max}$  — максимальный расширенный зазор сопряжения при введении сборки методом групповой взаимозаменяемости.

С учетом схемы образования нечетного числа групп селекции

$$S_{\max} = S_{\min} + 2(T_D + T_d) \frac{n}{n+1}.$$

После подстановки и преобразования получим формулу для расчета расширенного допуска сопряжения в зависимости от числа групп селекции  $n$

$$T_{z,\Delta} = 2T_{\Delta} \left( \frac{n}{n+1} \right).$$

Учитывая дополнительное условие (22.7) о том, что расширенные допуски детали соединения равны, формула для расчета расширенного допуска детали по известному допуску посадки соединения будет иметь вид

$$T_{z,D} = T_{z,d} = T_{\Delta} \left( \frac{n}{n+1} \right).$$

Таблица 22.1. Рекомендуемые соотношения параметров  $n$  и  $\Delta S/T_{\Delta}$

Число размерных групп $n$	1	2	3	4	5	6	$\infty$
Отношение $\Delta S/T_{\Delta}$	0	0,33	0,5	0,6	0,67	0,71	1,0

В некоторых случаях возникает необходимость определения допуска соединения при расширении допуска детали  $T_z$  в зависимости от  $n$ . Для этого случая рекомендуется формула  $T_{\Delta} = T_z(1 + 1/n)$ , где  $T_z = T_D = T_d$ .

Если возникает необходимость рассчитать возможное приращение исходного допуска соединения при внедрении метода групповой взаимозаменяемости, то используется формула

$$\Delta S = S'_{\max} - S_{\max} = T_{\Delta} \left( \frac{n-1}{n+1} \right).$$

Число групп селекции принимается в зависимости от допуска соединения и целесообразного уровня его приращения  $\Delta S$  по табл. 22.1.

Как следует из ряда данных,  $n$  должно быть в пределах 3..6. При этом обеспечивается прирост допуска посадки на 50..70 %, в то время как при дальнейшем увеличении  $n$  эффект прироста снижается.

Предельные отклонения по размерным группам для валов определяют по формулам:

верхнее

$$e_{si} = e_s - T_{z,d}(1 - i/n);$$

нижнее

$$e_{li} = e_i - T_{z,d}i/n.$$

То же для отверстий:

$$E_{Si} = E_i + T_{z,D}i/n; \quad E_{Li} = E_l + T_{z,D} \times (i-1)/n.$$

Предельные размеры изношенного вала и отверстия, годные для сборки методом групповой взаимозаменяемости, рассчитывают, используя соответственно равенства:

$$u_{\min} = u_{\max} - T_{z,d}; \quad D_{\max} = D_{\min} + T_{z,D}.$$

Вероятное число деталей, поступающих на сборку, определяется по группе годных и требующих ремонта. В свою очередь число годных, поступающих на сборку, определяется для каждой  $i$ -й размерной группы. Исследованиями установлено, что у большинства изношенных деталей распределение отклонений размеров от номинала происходит по нормальному закону, закону модуля-разности, реже по закону Вейбулла и др. Для нормального закона распределения с помощью ранее выведенных формул можно установить целесообразное число размерных групп, предельные размеры деталей по группам и определить вероятное число изношенных деталей по каждой размерной группе. На рис. 22.3 представлены статистические плотности распределения вероятностей отклонений размеров изношенных валов и отверстий от номинала.

В соответствии с рис. 22.2 для вала вероятная доля  $\eta_{r,d}$  годных деталей оценивается заштрихованной площадью под кривой распределения (см. левую часть рис. 22.2):

$$\eta_{r,d} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_d} \int_{S_{\min}}^{T_{z,d} + S_{\min} - \frac{(x - \bar{x}_d)^2}{2\sigma_d^2}} e^{-\frac{(x - \bar{x}_d)^2}{2\sigma_d^2}} dx. \quad (22.8)$$

Сделаем замену переменной  $x$  на  $t = (x - \bar{x}_d)/\sigma_d$ , тогда

$$\eta_{r,d} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{S_{\min} - \bar{x}_d}{\sigma_d}}^{t_d} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(t_d) - \Phi\left(\frac{S_{\min} - \bar{x}_d}{\sigma_d}\right), \quad (22.9)$$

где  $t_d = (T_{z,d} + S_{\min} - \bar{x}_d)/\sigma_d$ .

Имея в виду, что  $(S_{\min} - \bar{x}_d)/\sigma_d \ll -1$ , можно записать

$$\Phi\left(\frac{S_{\min} - \bar{x}_d}{\sigma_d}\right) = \Phi(-\infty) = -0,5. \quad (22.10)$$

Из (22.9) и (22.10) после подстановки получим

$$\eta_{r,d} = \Phi(t_d) + 0,5.$$

Аналогично для отверстия (см. правую часть рис. 22.2)

$$\eta_{r,D} = \Phi(t_D) + 0,5, \quad (22.11)$$

где  $t_D = (T_{z,D} - \bar{x}_D)/\sigma_D$ .

Вероятная доля восстанавливаемых деталей оценивается незаштрихованной площадью под кривой распределения (см. рис. 22.2) и рассчитывается по формулам:

$$\eta_{в,d} = 0,5 - \Phi(t_d); \quad \eta_{в,D} = 0,5 - \Phi(t_D).$$

Поступление на сборку деталей соответствующей размерной группы рассмотрим в соответствии с рис. 22.3.

Рассмотрим сначала разбиение годных валов по  $n$  размерным группам (левая часть рис. 22.3).

Для границ разбиения получим формулу

$$x_d^{(i)} = T_{z,d}(1 - i/n) + S_{\min}, \quad (22.12)$$

где  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ .

Тогда для  $(i+1)$ -й ( $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$ ) размерной группы доля годных деталей определится аналогично (22.12):

$$\eta_{r,d}^{(i+1)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_d} \int_{x_{i+1}}^{x_i} e^{-\frac{(x - \bar{x}_d)^2}{2\sigma_d^2}} dx, \quad (22.13)$$

Заменив переменную  $x$  на  $t = (x - \bar{x}_d)/\sigma_d$ , получим

$$\eta_{r,d}^{(i+1)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{x_{i+1} - \bar{x}_d}{\sigma_d}}^{\frac{x_i - \bar{x}_d}{\sigma_d}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(t_d^{(i)}) - \Phi(t_d^{(i+1)}), \quad (22.14)$$

где  $t_d^{(i)} = \left[ T_{z,d} \left( 1 - \frac{i}{n} \right) + S_{\min} - \bar{x}_d \right] / \sigma_d$ .

Также из (22.14) с учетом (22.12) получим

$$t_d^{(i+1)} = \left[ T_{z,d} \left( 1 - \frac{i+1}{n} \right) + S_{\min} - \bar{x}_d \right] / \sigma_d.$$

Для отверстий аналогично получим (правая часть рис. 22.3) границы разбиения:

$$x_D^{(i)} = T_{z,D} \leq l/n, i = 0, 1, 2, \dots, n.$$

Доля годных деталей  $\Gamma$ -й размерной группы

$$\eta_{\Gamma,D}^{(i+1)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_D} \int_{x_i}^{x_{i+1}} e^{-\frac{(x-\bar{x}_D)^2}{2\sigma_D^2}} dx,$$

откуда подобно (22.14)

$$\eta_{\Gamma,D}^{(i+1)} = \Phi\left(\frac{x_{i+1} - \bar{x}_D}{\sigma_D}\right) - \Phi\left(\frac{x_i - \bar{x}_D}{\sigma_D}\right).$$

Обозначив

$$t_D^{(i)} = (T_{z,D} i/n - \bar{x}_D) / \sigma_D,$$

получим окончательно

$$\eta_{\Gamma,D}^{(i+1)} = \Phi(t_D^{(i+1)}) - \Phi(t_D^{(i)}).$$

Вероятное число изношенных деталей в каждой  $\Gamma$ -й размерной группе с учетом годовой программы ремонта сборочных единиц  $N$  будет соответственно:

$$n_{d,i} = \eta_{\Gamma,d}^{(i)} N \text{ и } n_{D,i} = \eta_{\Gamma,D}^{(i)} N.$$

Общее число изношенных деталей на годовую производственную программу составит:

$$n_d = n_{d,1} + n_{d,2} + \dots + n_{d,n} = \sum_{i=1}^n n_{d,i};$$

$$n_D = n_{D,1} + n_{D,2} + \dots + n_{D,n} = \sum_{i=1}^n n_{D,i}.$$

Для сборки соединений в объеме годовой программы необходимо дополнить каждую размерную группу недостающими деталями — «валами» или «отверстиями» — в зависимости от того, каких деталей не хватает. Потребное число  $H$  новых или

отремонтированных деталей для доукомплектования одноименных размерных групп

$$H_{(D, d)q} = n_{(D, d)i, \max} - n_{(D, d)i, \min}$$

где  $n_{(D, d)i, \max}$  — максимальное число деталей с отверстием или валов  $\Gamma$ -й группы (принимается большее из двух значений);  $n_{(D, d)i, \min}$  — минимальное число деталей с отверстием или валов  $\Gamma$ -й группы (принимается меньшее из двух).

Общее потребное число новых (отремонтированных) валов и деталей с отверстием по всем  $\Gamma$ -м размерным группам на годовую производственную программу составит:

$$H_d = H_{d,1} + H_{d,2} + \dots + H_{d,n} = \sum_{i=1}^n H_{d,i};$$

$$H_D = H_{D,1} + H_{D,2} + \dots + H_{D,n} = \sum_{i=1}^n H_{D,i}.$$

Число валов, которое участвует в сборке,

$$n_{c,d} = \llcorner d + H_d = \sum_{i=1}^n n_{d,i} + \sum_{i=1}^n H_{d,i}.$$

Аналогично деталей с отверстием

$$n_{c,D} = n_D + H_D = \sum_{i=1}^n n_{D,i} + \sum_{i=1}^n H_{D,i}.$$

Число соединений  $n_c$ , которое можно собрать из деталей всех размерных групп, оценивается по меньшему из двух значений:  $n_{c,d}$  и  $n_{c,D}$ .

Экономическая эффективность применения групповой взаимозаменяемости определяется условием экономии затрат от внедрения этой сборки вместо обычной. Это условие характеризуется неравенством

$$C_n - C_h \leq C_c + EK,$$

где  $C_n$  — стоимость соединения, собранного только из новых или отремонтированных деталей при обычной сборке;  $C_h$  — стоимость соединения, собранного из изношенных деталей методом групповой взаимозаменяемости;  $C_c$  — затраты на сортировку и параметрическую

комплектацию;  $E$  — норматив экономической эффективности;  $K$  — капитальные вложения, связанные с внедрением метода групповой взаимозаменяемости.

Затраты, входящие в это неравенство, рассчитываются по известным формулам с учетом не только изменений текущих затрат, капитальных вложений, но и оборотных средств.

Групповой метод взаимозаменяемости получил ограниченное применение при ремонте из-за его недостатка, проявляющегося в том, что детали по размерным группам распределяются неравномерно. Поэтому при его использовании образуется незавершенное производство, сопровождающееся невыполнением программного задания или повышенным расходом запасных частей, с помощью которых можно восполнить недостающее число деталей в соответствующих размерных группах. Поиск варианта, лишенного этого недостатка, привел к разработке метода межгрупповой взаимозаменяемости. Применение этого метода обеспечения точности сборочного размера не сопровождается образованием незавершенного производства. Если же оно и образуется, то объем его весьма невелик и поддается регулированию. Сущность этого метода состоит в том, что предварительно для сборочной единицы определяется число деталей-компенсаторов, число размерных групп и стратегия параметрического комплектования, т. е. осуществляются две оптимизации. Сначала находят оптимальный план, а затем оптимальную стратегию комплектования для каждой сборочной единицы. В отличие от других методов обеспечения точности замыкающего звена размерной цепи метод межгрупповой взаимозаменяемости предусматривает многовариантный подбор деталей в комплекты. Последнее, с одной стороны, дает возможность управления качеством ремонтируемых сборочных единиц, уменьшения или полного устранения незавершенного производства, а с другой — обуславливает

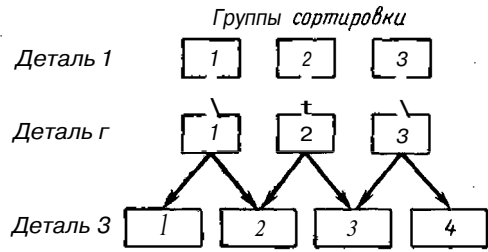


Рис. 22.4. Схема комплектования деталей по методу межгрупповой взаимозаменяемости

обязательную необходимость проведения не только номенклатурного, но и параметрического комплектования деталей перед сборкой узлов (рис. 22.4).

Таким образом, метод межгрупповой взаимозаменяемости — это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев из числа совместимых размерных групп, на которые они предварительно рассортированы. Ремонтная размерная цепь в этом случае будет содержать составляющие звенья-компенсаторы в количестве  $l \leq m - 1$  и с номерами 1, 2, ...,  $l$ , которые предварительно сортируются по размерным группам и комплектуются параметрически, а детали с номерами  $l + 1, l + 2, \dots, m - 1$  номенклатурно комплектуются, и точность обеспечивается методом полной или неполной взаимозаменяемости.

Нумерация звеньев-компенсаторов произвольная. В качестве составляющего звена-компенсатора совместимых размерных групп принимается  $l$ -е звено, которое наилучшим образом обеспечивает выполнение условия

$$T_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{l-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 T_{rp,i}^2 + \xi_l^2 \lambda_l^2 \delta_l^2 T_{l,rp}^2} + \sqrt{\sum_{i=l+1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 T_i^2},$$

где  $g_l$  — число совместимых размерных групп  $l$ -й детали.

Групповой допуск  $i$ -й детали определяется равенством

$$T_{гр,i} = T_i / n_i,$$

где  $n_i$  — число размерных групп  $i$ -й детали.

После подстановки получим

$$T_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{l-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 \frac{T_i^2}{n_i^2} + \xi_l^2 \lambda_l^2 \frac{g_l^2}{n_l^2} T_{l,гр}^2} + \\ + \sqrt{\sum_{i=l+1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 T_i^2},$$

Анализ этой формулы показывает, что при выбранной технологии ремонта деталей допуск замыкающего звена  $T_{\Delta}$  зависит от числа деталей-компенсаторов, числа размерных групп  $n_i$  и числа совместимых размерных групп  $g_i$ .

Максимально возможное число совместимых размерных групп  $l$ -й детали подсчитывается по формуле

$$g_l = \frac{K_{\Delta} \sqrt{T_{\Delta}^2 - \frac{t_{\Delta}}{K_{\Delta}^2} (A+B)}}{\xi_l K_l T_{l,гр}},$$

$$\left[ \text{где } A = \sum_{i=1}^{l-1} \xi_i^2 K_i^2 T_{гр,i}^2; \quad B = \sum_{i=l+1}^{m-1} \xi_i^2 K_i^2 T_i^2 \right]$$

и округляется до целого числа. В этой формуле  $K_{\Delta}$ ,  $K_i$  — коэффициенты относительного рассеяния соответственно замыкающего звена и  $i$ -го составляющего звена для размерной группы.

Коэффициент относительного рассеяния  $K = 6\sigma/\omega$ , где  $\omega$  — поле рассеяния. Координата середины поля допуска замыкающего звена

$$E_{с, \Delta} = \sum_{i=1}^{l-1} \xi_i \left( E_{с,i} + \alpha_i \frac{T_{i,гр}}{2} \right) + \xi_l \left( E_{с,l} + \alpha_l \frac{g_l T_{l,гр}}{2} \right) + \sum_{i=l+1}^{m-1} \xi_i \left( E_{с,i} + \alpha_i \frac{T_i}{2} \right) - \alpha_{\Delta} \frac{T_{\Delta}}{2},$$

где  $E_{с,i}$  — координата середины поля рассеяния размера  $l$ -го составляющего звена в пределах совместимых размерных групп;  $\alpha_i$  — коэффициент относительной асимметрии распределения размеров  $l$ -го звена в пределах совместимых размерных групп.

В целях упрощения процесса комплектации целесообразно устанавливать одно последнее составляющее звено, которое можно соединять с деталями различных размерных групп. Это условное составляющее звено может при необходимости заменяться на другое в зависимости от наличия деталей соответствующих размерных групп.

## 22.2. КОМПЛЕКТОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ

Комплектование — часть производственного процесса, предназначенного для обеспечения ритмичного и непрерывного выпуска изделий стабильного уровня качества. Комплектование выполняет следующие основные функции: накопление, учет и хранение отремонтированных деталей, сборочных единиц и комплектующих изделий; оперативная информация соответствующих служб предприятия о запасе составных частей изделий; подбор составных частей сборочного комплекта по номенклатуре, количеству и параметрам (по ремонтным размерам, параметрам и весомым группам); пригонка сопряженных деталей в соединениях; доставка сборочных комплектов к постам сборки до начала выполнения сборочных работ. Частичное и некачественное выполнение каждой из указанных функций неизбежно приводит к нарушению ритмичности сборки и снижению качества изделий.

Комплектование изделий и узлов для сборки изделий, у которых все соединения собираются методом полной взаимозаменяемости (основной вид комплектования), осуществляется подбором сборочного комплекта по номенклатуре и количеству. При наличии ряда соединений, собирае-



мых по методу групповой взаимозаменяемости (цилиндро- и шатунно-поршневая группы, насос и механизм рулевого управления с гидроусилителем, топливный насос высокого давления дизелей и др.). сопряженные детали комплектуются по параметрическим размерным группам, на которые они предварительно рассортированы и при необходимости осуществляется подбор по размерам и весовым группам, а также попарный подбор сопрягаемых деталей и пригоночные работы. Таким образом, применение того или иного вида комплектования конкретного собираемого изделия определяется используемым методом (или их сочетанием) обеспечения точности сборки.

Контроль и сортировку легкотранспортных деталей на размерные группы целесообразно организовать в *комплектовочном отделении* на специализированных постах, крупногабаритных деталей и узлов — на постах контроля при их ремонте с использованием высокопроизводительных средств измерений.

В настоящее время на ремонтных предприятиях комплектование производится на предстоящую смену, а иногда и параллельно с процессом сборки, что не обеспечивает ритмичного и непрерывного выпуска изделий высокого качества. Наиболее рациональной формой организации комплектования является организация работ по принципу «сегодня — на завтра».

### **22.3. ВИДЫ СОЕДИНЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ СБОРКИ. ВИДЫ СБОРКИ**

Технологический процесс сборки при ремонте изделия по структуре и последовательности выполнения операций аналогичен процессу при изготовлении изделия, отличаясь уровнем механизации и автоматизации, организационной формой, степенью концентрации и дифференциации операций.

**Основные понятия.** В зависимости от классификационных признаков рассматривают следующие *группы и виды соединений* при сборке: по сохранению целостности при разборке — разъемные и неразъемные; по возможности относительного перемещения составных частей — подвижные и неподвижные; по методу образования — резьбовые, прессовые, шлицевые, шпоночные, сварные, клепаные, комбинированные и др.; по форме сопрягаемых поверхностей — цилиндрические, плоские, конические, винтовые, профильные и др. Соединения, содержащие в себе несколько признаков, обозначаются соответствующим сочетанием терминов, например неподвижные разъемные резьбовые соединения, подвижные неразъемные профильные соединения.

Наиболее распространенными соединениями в конструкции автомобилей являются: разъемные подвижные (поршень — цилиндр, вал — подшипник скольжения, плунжер — гильза); зубчатые и шлицевые; разъемные неподвижные (резьбовые, прессовые и шпоночные); неразъемные неподвижные (сварные, паяные, клепаные, клееные); неразъемные подвижные — радиальные шариковые подшипники качения.

*Виды сборки изделий* классифицируются по следующим основным признакам: объект сборки, последовательность сборки, точность сборки, уровень механизации и автоматизации процесса сборки, подвижность изделия при сборке, организация производства.

По объекту сборки (составная часть или изделие в целом) сборка подразделяется на узловую и общую. Примеры узловой сборки — сборка поршня с шатуном и кольцами, колчатого вала с маховиком и сцеплением, головки цилиндров с клапанными механизмами, водяного и масляного насосов; примеры общей сборки — сборка агрегатов из узлов, сборка автомобиля из агрегатов и узлов.

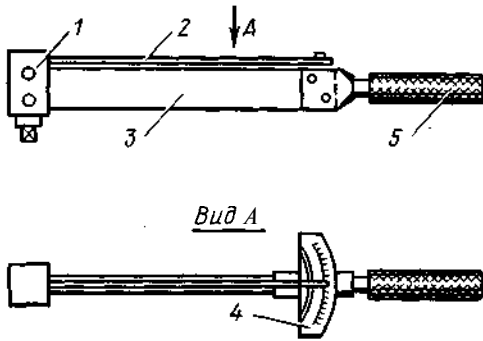


Рис. 22.5. Динамометрический ключ:  
1 — держатель накидной головки; 2 — стрелка; 3 — упругий стержень; 4 — шкала; 5 — рукоятка

По последовательности сборки — на последовательную (сборочные операции выполняются одна за другой), параллельную (операции выполняются одновременно) и последовательно-параллельную (операции выполняются и одна за другой, и одновременно).

По уровню механизации и автоматизации процесса сборки — на ручную, механизированную, автоматизированную.

По состоянию объекта сборки — на стационарную (неподвижную) и подвижную сборку с непрерывным или периодическим перемещением собираемого изделия между постами сборки (сборка агрегатов, автомобиля).

По организации производства — на типовую поточную, групповую (поточную и непоточную) и единичную как основной вид организации сборки на существующих ремонтных предприятиях.

**Сборка резьбовых соединений.** Работоспособность резьбовых соединений определяется моментом затяжки  $M$ , прикладываемым к гайке или головке болта. Минимальное значение момента находят из условия плотности соединения (нераскрытия стыка), а максимальное — по условию прочности материала болта или шпильки. Для метрических резьб с углом профиля  $60^\circ$

$$M = Q(0,16P + 0,58d_{cp}f_p) + QR_{\tau}f_{\tau},$$

где  $Q$  — сила затяжки, минимальное и максимальное значение которой находят из условия плотности соединения и прочности болта или шпильки,  $N(Q_{\min} = (0,5... 2)P$  для постоянных нагрузок и мягких прокладок.  $Q_{\min} = (1, 2, \dots, 3, 8)P$  для переменных нагрузок и плоских металлических прокладок);  $P$  — внешняя сила, действующая на болт или шпильку,  $N$ ;  $d_{cp}$  — средний диаметр резьбы,  $см$ ;  $f_p$ ,  $f_{\tau}$  — коэффициенты трения в резьбе и на опорной поверхности (торце) гайки или головки болта;  $R_{\tau}$  — приведенный радиус действия сил трения на опорной поверхности гайки или головки болта;

$$R_{\tau} = \frac{D_{\tau}}{2} = \frac{D^3 - d^3}{3(D^2 - d^2)},$$

где  $D$  и  $d$  — соответственно наружный и внутренний диаметры опорной кольцевой поверхности гайки (болта),  $см$ .

Параметр  $Q_{\max}$  назначается в зависимости от класса прочности болтов, винтов, шпилек. Например, для сталей 35, 45, 40Г класс прочности 6.6 —  $\sigma_b = (600...800)$  МПа, для сталей 35Х, 38ХА, 45Г класс прочности 8.8 —  $\sigma_b = (800...1000)$  МПа. При необходимости приложения большего момента затяжки по сравнению с расчетным следует заменить сталь на более прочную.

В групповых резьбовых соединениях (головка цилиндров, маховик и др.) затяжка гаек (болтов) производится в определенной последовательности, так как это требуется и для приспособлений (см. рис. 4.5); при расположении гаек (болтов) по кругу их затягивают крест-накрест в несколько приемов — сначала неполным моментом, а затем с окончательным, указанным в нормативно-технической документации.

Контроль момента затяжки резьбовых соединений осуществляют динамометрическими ключами по степени изгиба (рис. 22.5) или кручения стержня ключа либо с помощью предельных муфт, встраиваемых в резьбозавертывающие машины (становки).

Для более ответственных соединений (крышек шатунов, головок ци-

линдров и т. п.) применяют контроль затяжки по удлинению болта или шпильки, измеряемого индикатором или микрометром, а также по углу поворота гайки, измеряемому с помощью градуированного лимба.

**Сборка неподвижных прессовых соединений (с гарантированным натягом).** Надежность подобных соединений определяет ряд факторов — значение натяга, размеры и шероховатость сопрягаемых поверхностей, физико-механические свойства материалов деталей и пр. Сборка этих соединений осуществляется приложением осевой силы

$$P_{пр} = f n d L p,$$

где  $f$  — коэффициент трения;  $d$  — номинальный диаметр соединения, мм;  $L$  — длина соединения, мм;  $p$  — удельные контактные давления на сопрягаемых поверхностях, МПа.

$$p = \frac{\delta_{\max} \cdot 10^{-3}}{d(C_1/E_1 + C_2/E_2)},$$

где  $\delta_{\max}$  — максимальный расчетный натяг, мкм;  $C_1$  и  $C_2$  — коэффициенты, зависящие от соотношения геометрических параметров и физико-механических свойств охватываемой и охватывающей деталей;  $E_1$  и  $E_2$  — модули упругости материала деталей.

Применение смазочного материала уменьшает требуемое усилие запрессовки и предохраняет сопрягаемые поверхности от задиров. Качество сборки прессовых соединений определяется также точностью центрирования сопрягаемых деталей (с помощью приспособлений и оправок).

Повышение прочности неподвижных соединений с натягом в 1,5... 2,5 раза обеспечивается применением сборки с термовоздействием — нагревом охватываемой и (или) охлаждением охватываемой детали. При этом образуется необходимый сборочный зазор и не требуется приложение осевой силы. Температура нагрева (охлаждения) детали (в °С)

$$T = \frac{\delta_{\max} + 0,01 \sqrt{d}}{Kd} \pm T_0 \pm T_1,$$

где  $\delta_{\max}$  — максимальный расчетный натяг;  $d$  — диаметр соединения;  $K$  — коэффициент линейного расширения металла детали;  $T_0$  — температура окружающей среды;  $T_1$  — температура, компенсирующая потери тепла при переносе и установке детали на сборочную позицию.

Принимают  $T = 20...40$  °С, при нагреве детали со знаком «+», при охлаждении — со знаком «-». Нагрев деталей осуществляется в масляных ваннах, электропечах, индукционных установках и др. Для охлаждения деталей применяют жидкий азот, сухой лед (твердую углекислоту) в смеси с ацетоном, бензином или спиртом.

**Сборка соединений с подшипниками качения.** Надежность и долговечность соединений с подшипниками качения определяют геометрические параметры, шероховатость посадочных поверхностей и качество монтажа подшипников. Особое внимание следует уделять обеспечению соосности посадочных поверхностей отверстий в корпусных деталях. То же касается и шеек валов. При посадке подшипника осевое усилие прикладывается к кольцу, устанавливаемому с натягом, с обязательным применением механизированных пневматических, гидравлических или иных устройств (рис. 22.6) и специальных оправок. Нагрев подшипников в масляной ванне до 100 °С при установке

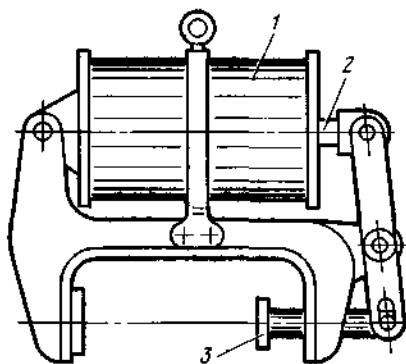


Рис. 22.6. Подвесная пресс-скоба для запрессовки подшипников качения: 1 — силовой цилиндр; 2 — шток; 3 — пуансон

на вал заметно уменьшает осевое усилие для запрессовки. Целесообразен также нагрев корпусной детали. Посадки внутреннего и наружного колец подшипников качения на валу и в корпусе обуславливаются видом нагрузки (местная, циркуляционная, колебательная), режимом работы, условиями монтажа и т. п. Посадки для вращающихся колец подшипников на валу характеризуются натягом. Второе кольцо подшипника, сопрягающееся с неподвижным корпусом, устанавливают с меньшим натягом или даже с небольшим зазором.

При сборке узлов с парой конических роликовых подшипников (ведущая коническая шестерня главной передачи с картером подшипников, вал ведущей цилиндрической шестерни редуктора с крышками подшипников, коробка дифференциала, вал ведущего колеса с червяком и др.) необходимо обеспечить предварительный натяг этих подшипников путем подбора толщины комплекта компенсирующих элементов (прокладок, втулок и пр.) или изменением осевого положения регулировочных гаек или регулировочного винта. Контроль заданного предварительного натяга после сборки узла осуществляют по моменту, необходимому для прокручивания одной из сопряженных деталей относительно неподвижной при отсутствии осевого люфта в подшипниковых соединениях.

**Сборка зубчатых передач.** Сборка цилиндрических зубчатых передач осуществляется методами полной или неполной взаимозаменяемости. Установка зубчатых колес на шейки валов с зазором не вызывает затруднений, а с натягом требуется запрессовка, которую выполняют на прессах или специальных приспособлениях с оправками. Перед сборкой зубчатой пары производят определение (при необходимости — подбор пар) на специальном приспособлении бокового зазора между зубьями для обеспечения плавности работы пары.

Сборка конических и гипоидных передач редуктора ведущего моста производится в следующем порядке. Ведущая вал-шестерня сначала собирается с парой конических подшипников, устанавливаемых в картер. При этом регулируют предварительный натяг подшипников подбором обычно комплекта регулировочных прокладок требуемой толщины. Качество сборки шестерни с подшипниками контролируют по моменту прокручивания вала в подшипниках. Следующая операция — регулировка и сборка пары гипоидных (конических) колес. После монтажа ведущей шестерни устанавливают колесо в сборе с валом (с чашкой дифференциала) и регулируют предварительный натяг пары конических подшипников ведомой шестерни путем установки прецизионного компенсатора соответствующей размерности или подбора комплекта прокладок, устанавливаемых равной толщины справа и слева. Контроль качества регулировки предварительного натяга указанной пары подшипников производят аналогично. Заключительной операцией сборки конической пары редуктора является регулировка зацепления путем осевого перемещения ведущей шестерни (вперед-назад) и (или) ведомого колеса (вправо-влево), перекладывая часть регулировочных прокладок с одной стороны на другую. Качество зацепления оценивается размерами, формой и положением пятна контакта на зубьях (рис. 22.7), значением бокового зазора между зубьями и уровнем шума на специальных стендах, оборудованных шумоизмерительной аппаратурой.

Высокая чувствительность к погрешностям расположения осей, смещению вершин конусов пары зубчатых колес обуславливают повышенные требования к качеству ремонта корпусных деталей, подбору зубчатых пар и выполнению сборочных и регулировочных операций. Последующая приработка и испытание редуктора позволяют дополнительно

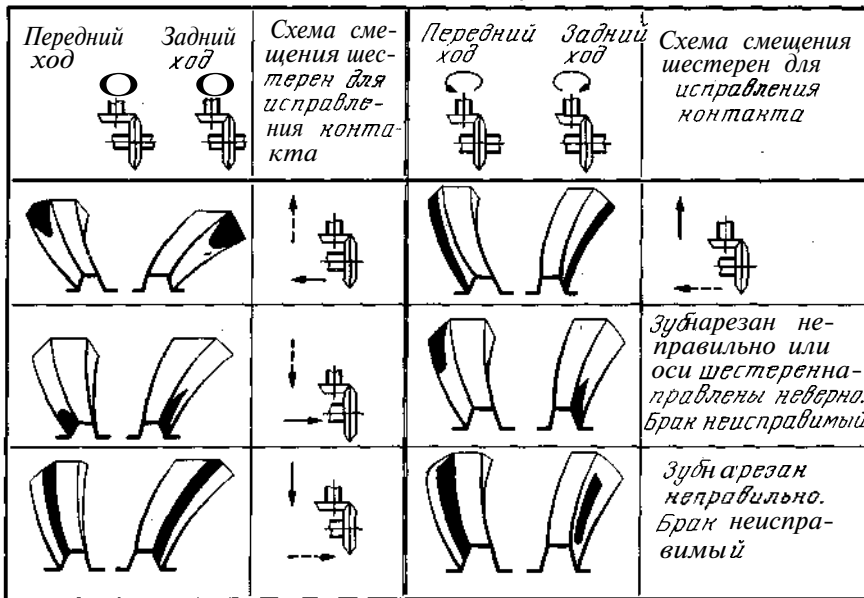


Рис. 22.7. Регулировка контакта зубьев конических шестерен главной передачи. Сплошной стрелкой показано направление смещения шестерен для исправления контакта. Если при этом боковой зазор получается чрезмерно большим или малым, то необходимо сместить другую шестерню, как показано прерывистой стрелкой

проконтролировать качество сборочных и регулировочных работ и обеспечить его надежную и долговечную работу в эксплуатации.

**Контроль качества сборки.** Применение того или иного вида контроля как неотъемлемой составной части технологического процесса обусловлено специфическими особенностями изделий, технологических процессов и требованиями обеспечения заданного уровня качества изделий. Для этого в технологическом процессе фиксируют число и место операций контроля с указанием предельных значений контролируемых параметров и исполнителя контрольной операции (контролер или слесарь-сборщик).

В процессе узловой и общей сборки выполняют комплекс контрольных работ — проверок:

- комплектности деталей и сборочных единиц;

- точности посадок и взаимного расположения сопряженных деталей

- и узлов (зазор между поршнем и цилиндром, в замках поршневых колец, посадка поршневого пальца в поршне и шатуне, зазор между зубьями цилиндрических и конических передач и др.);

- использования одноименных размерных групп сопряженных деталей при сборке методом групповой взаимозаменяемости;

- выполнения технологических требований по сборке, регулировке, обработке и испытанию изделий;

- герметичности соединений, в том числе качества притирки клапанов; отсутствия прокладок и сальников, бывших в эксплуатации;

- смазки деталей узлов и агрегатов.

Производится проверка технологических параметров и определение функциональных показателей собранных изделий (развиваемая мощность и удельный расход топлива, напор и подача масляного насоса, электрические параметры генератора и др.).

Контроль сборки осуществляется с применением соответствующих средств измерений, которые выбирают с учетом конструктивных особенностей изделия, метрологических характеристик, а также себестоимости выполнения контрольной операции. В качестве средств измерения используют универсальные штангенинструменты, микрометрические и индикаторные инструменты, электрические и пневматические приборы и различные специальные контрольные приборы, приспособления, стенды и установки. Обеспечение требуемого уровня качества отремонтированных изделий невозможно без эффективного функционирования службы технического контроля как неотъемлемой составной части технологических процессов.

В зависимости от стабильности соблюдения качества собранных изделий применяется выборочный контроль (с использованием статистических методов) или сплошной. Операции технического контроля разрабатываются совместно с операциями технологического процесса сборки изделий, которые формируют и определяют заданное качество с обеспечением необходимой взаимосвязи и взаимодействия между ними и обеспечивают получение информации для регулирования технологического процесса и предупреждения брака с заданной ограниченной вероятностью пропуска дефектных изделий. Операции технического контроля оснащаются необходимым набором стационарных и переносных средств измерений и предусматривают нормативные условия выполнения измерений.

Погрешности сборки по характеру и проявлению могут быть случайными и периодическими. Основные из них — это некачественные посадки, вызывающие появление других неисправностей. Распространенными дефектами являются и отклонения от точности взаимного расположения деталей и узлов, неравномерная и беспорядочная затяжка групп резь-

бовых соединений, неплотность прилегания сопрягаемых поверхностей и др.

Большинство погрешностей сборки возникает из-за низкого качества деталей и узлов, поступающих на сборку, и нарушения технологической дисциплины.

Рациональное разделение функций контроля сборки между работниками ОТК и сборщиками, применение моральных и материальных стимулов — необходимые условия высокого качества собранных изделий.

#### **22.4. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ**

Для установки и закрепления собираемых изделий применяют различные захваты, стенды, универсальные и специализированные приспособления с ручными или механизированными зажимными устройствами. Наибольшее распространение при сборке получили электрические и пневматические сверлильные и шлифовальные машины, гайковерты, а также многошпиндельные специализированные автоматизированные установки, скомпонованные из унифицированных элементов (рис. 22.8). Для сборки прессовых соединений широкое применение получили прессы и приспособления с ручным или механизированным приводом.

На крупных ремонтных предприятиях организация поточной сборки изделий осуществляется с применением поточно-механизированных линий на основе эстакад с тележками (с ручным или механизированным перемещением изделия) и комплектом механизированных и автоматизированных средств технологического оснащения или конвейерных линий сборки (рис. 22.9). Выбор вариантов технологического оборудования и оснастки производят исходя из следующих основных условий: минимума приведенных затрат на выполнение технологического процесса и минимума периода окупаемости.

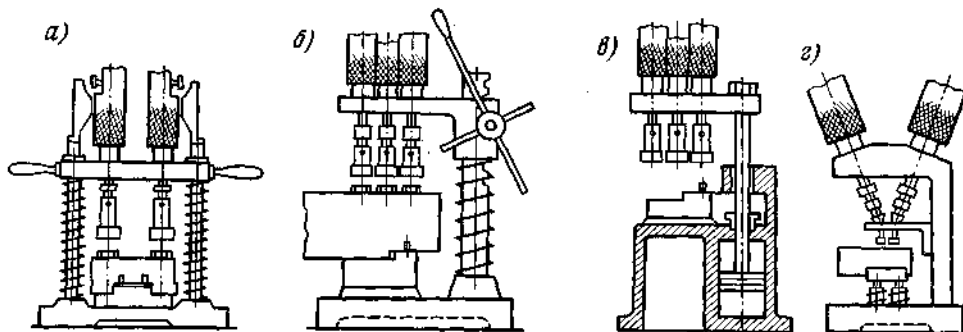


Рис. 22.8. Механизированные установки, скомпонованные из пневматических резьбозавертывающих головок:

а — двухшпindelная на двух стойках; б — многшпindelная с шарнирным закреплением патронов; в — то же с пневматическим перемещением траверсы с головками; г — двухшпindelная с угловым расположением головок при небольшом расстоянии между осями резьбовых соединений

Опыт выбора и применения технологического оборудования и оснастки отображен в приведенном ниже технологическом процессе сборки редуктора легкового автомобиля. Сборка производится с применением методов полной взаимозаменяемости и регулирования (рис. 22.10).

1. Измерить монтажный размер  $A$  картера с помощью индикаторного приспособления (рис. 22.11) и записать отклонение  $\pm EA$  от нулевого показания индикатора.

2. Напрессовать внутреннее кольцо заднего подшипника 12 (см. рис. 22.10) с сепаратором и роликами в

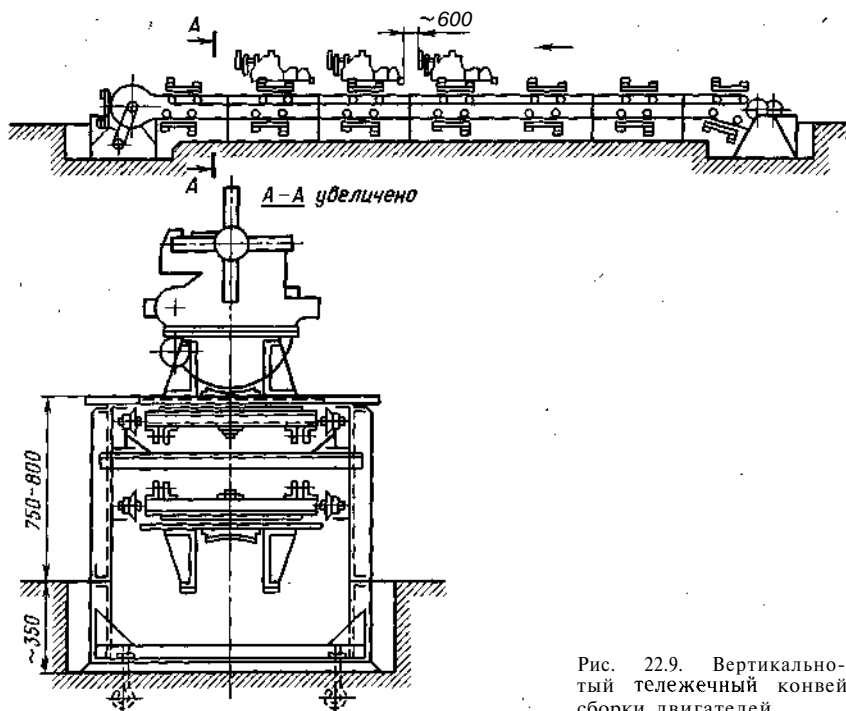


Рис. 22.9. Вертикально-замкнутый тележечный конвейер для сборки двигателей

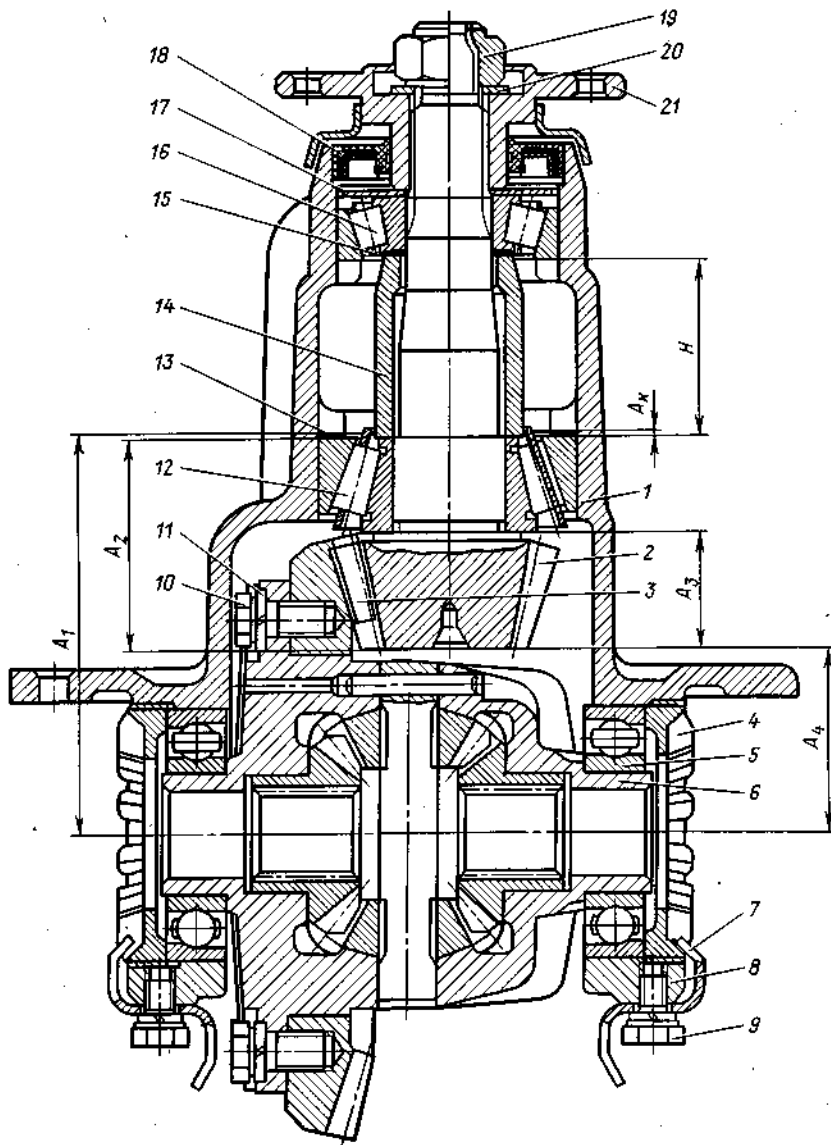


Рис. 22.10. Редуктор заднего моста автомобиля «Москвич-2140»

сборе на ведущую шестерню 2 до упора в торец головки шестерни.

3. Установить наружное кольцо заднего подшипника на внутреннее кольцо, измерить монтажный размер  $A_2$  на специальном стенде с применением радиальных и осевых нагрузок к наружному кольцу при его вращении и записать отклонение  $\pm EA_2$  от нулевого показания индикатора.

Измерить размер  $A_3$  и записать отклонение  $\pm EA_3$  (через координату  $EA_3$  — с учетом ее значения). Определить размер компенсатора  $A_k$  (комплекта регулировочных прокладок 13):

$$A_k = EA_2 - (EA_1 + EA_3).$$

По результатам расчета подобрать комплект регулировочных прок-



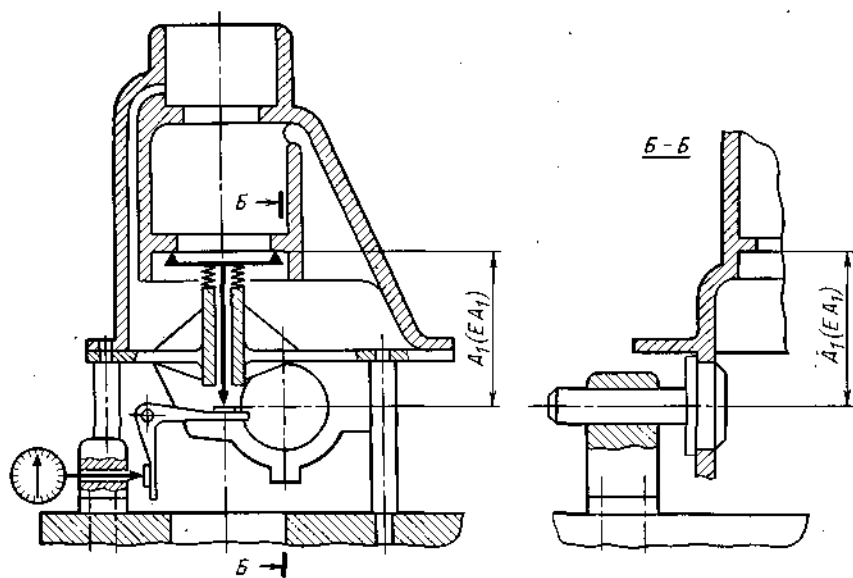


Рис. 22.11. Измерение монтажного размера картера редуктора главной передачи

ладок для регулирования монтажного положения ведущей шестерни в картере редуктора, проверить действительный размер компенсатора под нагрузкой путем повторного измерения на стенде, при вращении подшипника под осевой и радиальной нагрузкой (среднее значение показаний за несколько оборотов). Комплект прокладок не должен содержать более двух прокладок одинаковой толщины.

4. Запрессовать на специальном приспособлении наружные кольца переднего 16 и заднего 12 подшипников ведущей шестерни в картер 1 редуктора до упора в буртики.

5. Определить толщину комплекта регулировочных прокладок 15 для регулирования преднатяга подшипников 12 и 16 ведущей конической шестерни.

6. Установить подобранный комплект прокладок 15 на шестерню между торцом распорной втулки 14 и торцом внутреннего кольца переднего подшипника. Напрессовать внутреннее кольцо переднего подшипника.

7. Установить на шестерню упорную шайбу 17, запрессовать саль-

ник 18 и фланец 21, установить шайбу 20, накрутить гайку 19 и затянуть ее с заданным моментом. Качество регулировки преднатяга подшипников оценивается моментом вращивания ведущей конической шестерни в подшипниках, который должен быть 1,5...2,5 Н·м (при большем или меньшем значении момента произвести повторный подбор комплекта регулировочных прокладок).

8. Проверить монтажное расстояние  $A_4$  от торца ведущей шестерни до оси отверстий картера под подшипники дифференциала с помощью контрольного приспособления.

9. Проверить биение фланца ведущей шестерни на специальном стенде.

10. Проверить перпендикулярность оси отверстий в проушинах картера относительно оси ведущей шестерни с помощью специального приспособления.

11. Запрессовать с помощью прессы коробку дифференциала 6 в сборе с шестернями полуосей и сателлитами в ведомую шестерню 3 редуктора до упора в торец фланца и завернуть восемь болтов 10 с шайбами

11 крепления ведомой шестерни с коробкой дифференциала.

12. Отрегулировать в установленных пределах биение торца ведомой шестерни относительно оси опорных шеек коробки дифференциала в специальном приспособлении.

13. Напрессовать внутренние кольца подшипников 5 на посадочные шейки коробки дифференциала на специальном приспособлении.

14. Проверить биение торца ведомой шестерни относительно торцов внутренних колец подшипников 5 дифференциала с заданной точностью на специальном приспособлении.

15. Собрать картер с коробкой дифференциала в сборе на специальном стенде с четырехшпindelным гайковертом и отрегулировать боковой зазор в зубчатом зацеплении путем ослабления крепления крышек 8 подшипников и поворота регулировочных левой и правой гаек 4, перемещая ведомую шестерню в осевом направлении направо или налево до получения необходимого бокового зазора в зацеплении.

16. Испытать редуктор на стенде.

17. Установить на редуктор стопоры 7 регулировочных гаек и закрепить их болтами 9 с шайбами.

При испытании редуктора на различных скоростях прослушивают характер и уровень шума, проверяют пятно контакта на холостом ходу и под нагрузкой, работу дифференциала поочередно с каждой стороны, степень нагрева подшипниковых узлов, герметичность соединений.

Уровень механизации (автоматизации) процессов сборки может быть оценен с помощью основных и дополнительных показателей (см. гл. 10).

## 22.5. БАЛАНСИРОВКА ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ, АГРЕГАТОВ

**Основные понятия.** Неуравновешенность (дисбаланс) вращающихся частей является одним из факторов, лимитирующих надежность и долго-

вечность автомобилей в эксплуатации. Неуравновешенность — состояние, характеризующееся таким распределением масс, которое вызывает переменные нагрузки на опоры, повышенные износ и вибрацию, способствует быстрой утомляемости водителя. Дисбаланс изделия — векторная величина, равная произведению локальной неуравновешенной массы  $m$  на расстояние до оси изделия  $r$  или произведению массы изделия  $G$  на расстояние от оси изделия до центра масс  $e$ , т. е.  $D = mr = Ge$ .

Дисбаланс возникает в процессе изготовления (восстановления) деталей, сборки узлов и агрегатов и изменяет свое количественное значение в процессе эксплуатации и ремонта.

В зависимости от взаимного расположения оси изделия и его главной центральной оси инерции различают три вида неуравновешенности: статическую, моментную и динамическую.

При *статической* неуравновешенности ось  $OB$  вращения ротора смещена на эксцентриситет  $e$  и параллельна главной центральной оси инерции  $OИ$  (рис. 22.12, а). Данная неуравновешенность присуща дискообразным деталям и узлам (маховики, диски сцепления, шкивы, крыльчатки, сцепления в сборе и др.) и проявляется и в статическом, и в динамическом состоянии. Статическая неуравновешенность определяется главным вектором дисбалансов  $\vec{D}_{ст}$  (статический дисбаланс).

При *моментной* неуравновешенности ось изделия и его главная центральная ось инерции пересекаются в центре масс. Данная неуравновешенность определяется главным моментом дисбалансов  $M$  или двумя равными по значению антипараллельными векторами дисбалансов в двух произвольных плоскостях (рис. 22.12, б).

Моментная неуравновешенность является частным случаем более общей — *динамической* неуравновешенности, при которой ось изделия и его главная центральная ось пересекаются не в центре масс или пе-

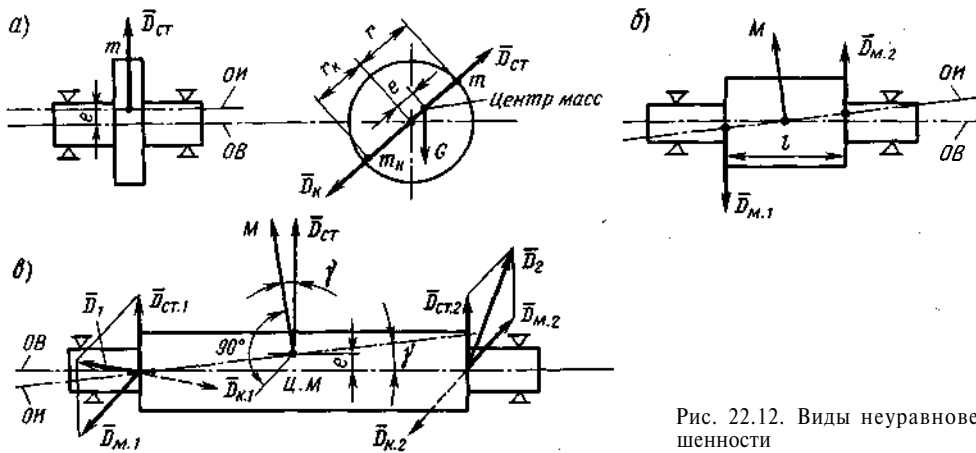


Рис. 22.12. Виды неуравновешенности

рекрешиваются (рис. 22.12, в). Присуща она деталям и узлам типа валов, состоит из статической и моментной неуравновешенностей и определяется главным вектором дисбалансов  $D_{ст}$  и главным моментом дисбалансов  $M$  или двумя приведенными векторами дисбалансов (в общем случае разных по значению и непараллельных), лежащих в двух выбранных плоскостях (динамический дисбаланс).

Дисбаланс изделия характеризуется числовым значением (в г·мм, г·см, кг·см) и углом дисбаланса (в градусах) в системе координат, связанных с осью изделия.

Главный вектор дисбалансов  $\bar{D}_{ст}$  может быть разложен на два параллельных  $D_{ст.1}$  и  $D_{ст.2}$ , приложенных в выбранных плоскостях, а главный момент дисбалансов  $M$  может быть заменен моментом пары равных антипараллельных дисбалансов  $\bar{D}_{м.1}$  и  $\bar{D}_{м.2}$  в тех же плоскостях. Геометрические суммы  $D_{ст.1} + D_{м.1} = \bar{D}_1$  и  $D_{ст.2} + D_{м.2} = \bar{D}_2$  образуют два приведенных дисбаланса  $D_1$  и  $D_2$  в выбранных плоскостях, которые полностью определяют динамическую неуравновешенность изделия.

При вращении неуравновешенного изделия возникает переменная по величине и направлению центробежная сила инерции  $P = mr\omega^2 = Ge\omega^2$ , где  $\omega$  — угловая скорость вращения.

Приведение изделий, обладающих неуравновешенностью, в уравновешенное состояние осуществляется их балансировкой, т. е. определением дисбаланса изделия и устранением (уменьшением) его корректировкой путем удаления или добавления корректирующих в определенных точках масс. В зависимости от вида неуравновешенности тела различают два вида балансировки: статическую и динамическую.

**Статическая балансировка.** При такой балансировке определяется и уменьшается (до остаточного допустимого значения дисбаланса) главный вектор дисбалансов  $D_{ст}$  путем удаления или добавления корректирующей массы  $m_k$  (обычно в одной плоскости корректировки) так, чтобы  $m_k r_k = m r$  (см. рис. 22.12, а). Статическая балансировка производится на стендах с призмами или роликами либо на специальных станках для статической балансировки в динамическом режиме (при вращении тела). Такая балансировка повышает точность балансировки и открывает возможность автоматизации процесса.

**Динамическая балансировка.** При такой балансировке определяются и устраняются (уменьшаются) два приведенных дисбаланса  $D_1$  и  $D_2$  в выбранных плоскостях коррекции путем удаления или добавления двух

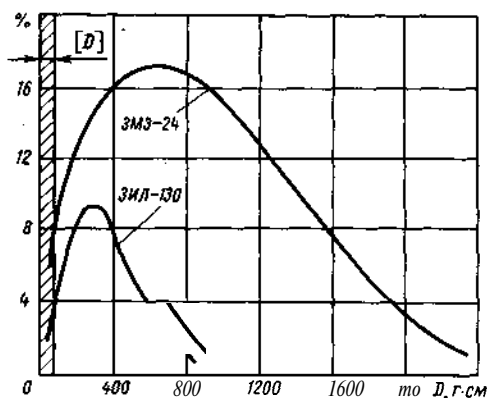


Рис. 22.13. Кривые распределения дисбаланса коленчатых валов в сборе с маховиком и сцеплением после ремонта (перед балансировкой)

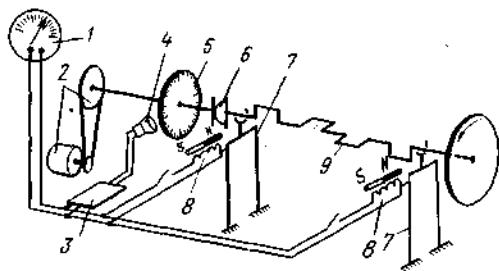


Рис. 22.14. Схема балансирующего станка БМ-У4:

1 — измерительный прибор; 2 — привод; 3 — измерительное устройство; 4 — стробоскопическая лампа; 5 — градуированный лимб; 6 — соединительная муфта; 7 — гибкие опоры; 8 — индукционные датчики; 9 — балансируемый вал с маховиком в сборе

Таблица 22.2. Допустимый дисбаланс сборочных единиц, г·см

Сборочные единицы	Легковые автомобили	Грузовые автомобили
Коленчатый вал	10...15	20...30
Коле, тый вал в сборе с маховиком и сцеплением	20...50	50...70
Маховик	30...40	35...60
Ведомый диск сцепления, кожух сцепления в сборе с нажимным диском	10...25	30...50
Карданный вал	15...25	50...70

приведенных корректирующих масс, в общем случае разных по значению и расположенных под разными углами коррекции, в системе координат, связанной с осью ротора. При динамической балансировке устраняется (уменьшается) как статическая, так и моментная неуравновешенность, и изделие становится полностью сбалансированным, при этом  $\bar{D}_{ст} \approx 0$  и  $M \approx 0$  и главная центральная ось инерции совпадает с осью изделия.

В процессе эксплуатации автомобилей происходит увеличение дисбаланса деталей, узлов и агрегатов вследствие появления неравномерных износов рабочих поверхностей, деформаций, смещения сопряженных деталей в узлах относительно оси вращения, повышенных зазоров в соединениях. Так, дисбаланс изношенных карданных валов и коленчатых валов в сборе грузовых и легковых автомобилей, поступающих в капитальный ремонт, увеличен обычно по сравнению с допустимым значением  $[D]$  (табл. 22.2) в несколько раз.

В процессе ремонта также происходит увеличение дисбаланса ремонтируемых деталей и узлов из-за неточностей сборки, деформаций при механической и термической обработке, смещения осей одних деталей относительно других при сборке и т. п. (рис. 22.13). Таким образом, в процессе ремонта детали и узлы "необходимо балансировать".

Для балансировки коленчатых валов отдельно и в сборе с маховиком и сцеплением, карданных валов целесообразно использовать балансирующий станок БМ-У4 (рис. 22.14). На мелких предприятиях при отсутствии станка для динамической балансировки валов можно использовать стенд с роликами для статической балансировки коленчатого вала в сборе с маховиком и сцеплением, так как основную часть дисбаланса этого узла составляет статический дисбаланс маховика со сцеплением в сборе.

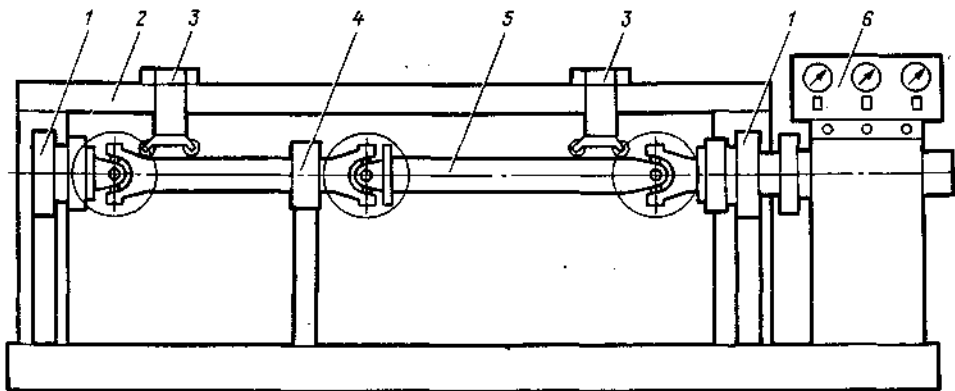


Рис. 22.15. Станок МС-9734 для балансировки трехопорных карданных валов:

1— опоры с зажимами; 2— портал для установки и перемещения сварочных машин; 3— сварочные машины; 4— промежуточная опора; 5— балансируемый карданный вал; 6— измерительное и управляющее устройства

Ротор турбокомпрессора дизелей балансируется на машинах типа ДБ-10 (точность балансировки 0,05... 0,3 г·см на частоте вращения ротора 1500...2500 мин<sup>-1</sup>) и др. Дисбаланс устраняют удалением металла с колеса турбины или компрессора шлифовальной машиной или фрезой. Кроме станка БМ-У4, рекомендуется применять балансировочные станки моделей 9715, 9716 и др., для карданных валов — станки МС-922, МС-9734 (рис. 22.15) и др. Станок МС-9734 служит для балансировки 2- и 3-опорных карданных валов соответственно в двух или трех плоскостях коррекции. Дисбаланс устраняют приваркой пластин (не более трех) соответствующей массы на концах трубы вала с помощью электросварочных машин.

Балансировка двигателя в сборе после ремонта может выполняться на переоборудованном электротормозном стенде КИ-4257 с помощью виброметра ЭВМ-БП (или аналогичного прибора) с устранением дисбаланса в двух плоскостях (в плоскости маховика и в плоскости шкива коленчатого вала) постановкой уравнивающих грузиков — болтов определенной массы в резьбовые отверстия маховика и шкива. Выполнение балансировки деталей, узлов и двига-

телей в сборе снижает вибрацию и износ опор и подшипников и повышает надежность и долговечность автомобилей в среднем на 15—20 %.

## 22.6. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

В зависимости от трудоемкости сборки и годовой программы выпуска изделий (составных частей) различают следующие организационные формы сборочных процессов: *подвижную поточную* — с перемещением изделия по позициям (рабочим постам); *стационарную неподвижную* — при этом сборка осуществляется на одном рабочем месте. Стационарную сборку осуществляют при сборке крупных изделий, а также узлов и несложных агрегатов, когда заданная программа выполняется на одном — трех рабочих местах. При сборке более трудоемких изделий, когда число рабочих мест более трех, целесообразно организовать подвижную поточную сборку со специализацией рабочих мест на выполнение определенных технологических операций. При этом собираемое изделие перемещают от одного рабочего места к другому вручную (по рольгангу, наклонному лотку или на тележках

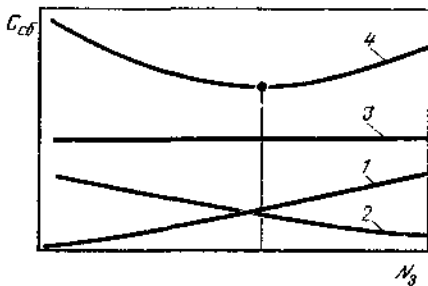


Рис. 22.16. Влияние объема задела  $N_з$  на себестоимость  $C_{сб}$  сборочных работ:  
 1 — издержки от незавершенного производства (задела); 2 — издержки от простоя линии сборки; 3 — технологическая себестоимость сборочных операций на посту; 4 — полная себестоимость сборки на посту

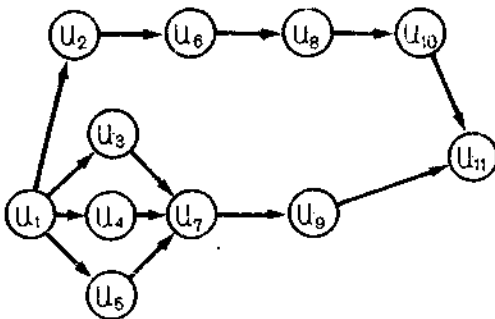
по эстакаде) или с помощью периодически или непрерывно движущегося конвейера напольного или подвесного типа.

Для ликвидации простоя рабочих на постах сборки целесообразно предусматривать заделы деталей и сборочных единиц. Экономически целесообразный объем задела определяется технико-экономическими расчетами с учетом расходов за время простоя сборочной линии и потерь на создание и хранение задела (рис. 22.16).

## 22.7. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ И РАЗБОРКИ ИЗДЕЛИЙ

### 22.7.1. Подготовка исходных данных

Сборка (разборка) изделия предусматривает выполнение определенной совокупности технологических



переходов. Возможные варианты последовательности выполнения технологических переходов могут быть заданы графом (рис. 22.17). В соответствии с ним выполнение одних переходов необходимо закончить до начала других. Например, переход  $u_2$  непосредственно предшествует на графе переходу  $u_6$ . Это означает, что переход  $u_6$  может быть начат только после завершения перехода  $u_2$ . В то же время не имеет значения, какой из двух невязанно связанных переходов —  $u_6$  или  $u_8$  — будет выполнен раньше. От правильности составления графа технологической последовательности выполнения переходов зависит формирование технологических операций сборки (разборки) изделий. Исходными данными для составления графа являются сборочный чертеж изделия и технические условия на сборку (разборку). Для каждого технологического перехода выбираются оборудование, приспособления, инструмент.

По совокупности принятых технологических решений может быть получен ряд схем от наименее производительных одноинструментальных, одноместных, последовательных до наиболее производительных многоинструментальных, многоместных, параллельных. Наилучшую схему для рассматриваемых условий выбирают, руководствуясь принятым критерием эффективности и технологичностью конструкции изделия, которая зависит от принимаемого уровня механизации и автоматизации процесса. По этому признаку различают ручную, механизированную, автоматизированную и автоматическую сборку и разборку. Технологичность конструкции может рассматриваться лишь применительно к определенному виду сборки и разборки. Изделие, технологичное для одного вида, может оказаться нетехнологичным для дру-

Рис. 22.17. Граф технологической последовательности выполнения переходов

гого. Однако можно сформулировать общие требования к технологичности изделий при сборке и разборке.

*Блочность конструкции* позволяет механизировать и автоматизировать сборку и разборку отдельных блоков, если сложность конструкции не позволяет сделать это для изделия в целом.

*Простота конструкции* заключается в применении более простых питателей, ориентирующих и базирующих устройств, что повышает возможности автоматизации процессов.

Точностные требования к конструкции распространяются как на размерные параметры, так и на взаимное расположение поверхностей. Свойства деталей, влияющие на возможность механизации и автоматизации процессов сборки и разборки, отражают конструктивные особенности и материал детали. Наличие у детали поверхностей, пригодных и удобных для базирования при сборке, а также заходных фасок, вспомогательных направляющих поверхностей позволяет достичь требуемой точности базирования при простой конструкции приспособления, исключает перебазирование детали в процессе сборки. Материал, из которого изготовлена деталь, определяет возможность изменения ее формы в процессе сборки или разборки.

Качество деталей в ряде случаев может быть несущественным при ручной сборке, но приобретать решающее значение при механизации и автоматизации процесса.

В результате технологического анализа конструкции изделие расчленяют на детали и сборочные единицы таким образом, чтобы выделенные составные части в наибольшей степени отвечали сформулированным выше требованиям, и составляют граф технологической последовательности выполнения переходов.

Условия и режимы выполнения технологических переходов (усилия запрессовки и выпрессовки, температура нагрева или охлаждения при

соединении с тепловым воздействием, частоту вращения инструмента и др.) определяют расчетами. Трудоемкость (длительность) выполнения технологических переходов устанавливают с учетом совмещения рабочих движений.

Для совокупности технологических переходов устанавливают логические условия, отражающие недопустимость либо, наоборот, необходимость включения переходов в одну технологическую операцию. С этой целью переходам присваивают числовые коды. Например, если переход должен выполнять слесарь-сборщик, ему можно присвоить код 1, а если сварщик, — код 2. Аналогично при сборке автокрана переходы могут быть разделены на выполняемые при нахождении рабочего на полу и на поворотной платформе, а при поточной сборке с применением конвейера — на выполняемые с левой и правой стороны конвейера и т. д. Совмещение в одной операции переходов, имеющих разные коды, недопустимо. Если же для сборки или разборки применяется высокопроизводительное дорогостоящее технологическое оборудование, то переходы, для выполнения которых оно предназначено, должны быть обязательно включены в технологическую операцию, выполняемую на этом оборудовании. Таким Переходом может быть присвоен другой кодовый признак, при совпадении которого они подлежат включению в соответствующую технологическую операцию.

При формировании технологических операций сборки и разборки изделий решают вопрос о целесообразности поточной организации производства. При поточной сборке и разборке операции должны быть синхронизированы, т. е. согласованы по длительности с тактом производства

$$\tau = T_{ф.л} / N,$$

где  $T_{ф.л}$  — годовое количество часов работы поточной линии, ч;  $N$  — годовая производственная программа сборки (разборки) изделий, шт.

### 22.7.2. Формирование маршрута централизованного ремонта агрегатов по состоянию и расстановка контрольных операций

Объединение агрегатов с разными сочетаниями дефектов в один технологический маршрут приводит к производственным потерям  $S_k$ , обусловленным неполным соответствием устраняемых на  $k$ -м маршруте дефектов фактическим сочетаниям дефектов агрегатов, поступающих на этот маршрут, т. е. это потери, вызванные выполнением излишних ремонтных работ. С другой стороны, переход от  $Q$  сочетаний дефектов к меньшему числу  $K$  технологических маршрутов по сравнению со случаем  $K=Q$  ведет к уменьшению ошибок в назначении маршрутов и вызванных этим потерь  $S_k$ . Одновременно снижаются затраты  $D_k$  на выполнение контрольно-диагностических операций. Решения задачи формирования технологических маршрутов ремонта и расстановки контрольно-диагностических операций будут характеризоваться значением целевой функции

$$F_k = C_k + S_k + D_k, \quad (22.15)$$

а наилучшее решение будет соответствовать значению

$$F_{\text{opt}} = \min_k F_k.$$

Для оценки потерь от ошибок в назначении маршрутов  $S_k$  следует рассмотреть все пары  $j$ -х и  $s$ -х технологических маршрутов из множества  $K$ , где  $l \neq s$ :

$$C_k = N \sum_{i=s+1}^K \sum_{s=1}^K (C_{js} P_{js} k_j + C_{sj} P_{sj} k_s), \quad (22.16)$$

где  $N$  — годовая производственная программа предприятия;  $C_{js}, C_{sj}$  — общие потери от ошибочного назначения  $j$ -го

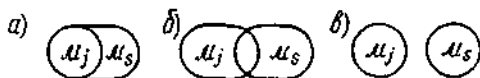


Рис. 22.18. Возможные комбинации технологических маршрутов

маршрута вместо  $s$ -го и наоборот;  $P_{js}, P_{sj}$  — вероятности ошибочного назначения  $j$ -го маршрута вместо  $s$ -го и наоборот;  $k_j, k_s$  — маршрутные коэффициенты ремонта  $j$ -го и  $s$ -го маршрутов.

Для определения значений вероятностей  $P_{js}$  и  $P_{sj}$  введем целочисленные переменные:

$$\delta_{ul} = \begin{cases} 1, & \text{если } u\text{-й дефект агрегата оценивается в процессе пред-} \\ & \text{ремонтного диагностирова-} \\ & \text{ния } l\text{-м диагностическим па-} \\ & \text{раметром;} \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$\delta_{uj} = \begin{cases} 1, & \text{если } u\text{-й дефект устраня-} \\ & \text{ется при выполнении } j\text{-го тех-} \\ & \text{нологического маршрута;} \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$b_{js} = \begin{cases} 1 & \text{если при выполнении } s\text{-го} \\ & \text{технологического маршрута;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В зависимости от сочетаний дефектов  $\{\delta_{uj}\}$  и  $\{\delta_{us}\}$ , устраняемых на технологических маршрутах  $M_j$  и  $M_s$ , возможны следующие комбинации маршрутов: технологический маршрут  $M_s$  полностью включает в себя маршрут  $M_j$  (рис. 22.18, а);  $M_s$  включает часть маршрута  $M_j$  (рис. 22.18, б); маршруты не совпадают (рис. 22.18, в). Обозначим  $M$  общую часть маршрутов  $M_s$  и  $M_j$ . На рис. 22.18, а  $M = M_j$ , на рис. 22.18, б  $M = M_s \cap M_j$ , а на рис. 22.18, в  $M = \emptyset$ , т. е. пустое множество. Нетрудно заметить, что первая и третья ситуации являются частными случаями второй, для которой и продолжим дальнейшие рассуждения.

Технологический маршрут  $M_j$  будет ошибочно назначен вместо  $M_s$ , если одновременно произойдут два события:

будет ошибочно обнаружен хотя бы один дефект в области  $M_j | M^*$ ;

будут ошибочно пропущены все дефекты в области  $M_s | M$ .

\* Область  $M_j | M$  — это подмножество сочетаний дефектов, устраняемых на технологическом маршруте  $M_j$ , за исключением сочетаний дефектов, входящих в подмножество  $M$ . т. е. устраняемых и на маршруте  $M_j$ , и на маршруте  $M_s$  (см. рис. 22.18).



Обозначим вероятность первого события  $P_{js}^I$ , а второго —  $P_{js}^{II}$ . Эти вероятности будут иметь разные значения в случаях, когда технологические маршруты назначаются только по результатам предремонтного диагностирования и когда для этого используется также операционный контроль разборочного процесса. В первом случае:

$$\left. \begin{aligned} P_{js}^I &= \sum_{u=1}^U \delta_{uj} (\delta_{uj} - \delta_{us}) \sum_{l=1}^L \delta_{ul} \alpha_{ul}; \\ P_{js}^{II} &= 1 - \prod_{u=1}^U \delta_{us} (\delta_{us} - \delta_{uj}) \left( 1 - \sum_{l=1}^L \delta_{ul} \beta_{ul} \right), \end{aligned} \right\} (22.17)$$

где  $\alpha_{ul}$ ,  $\beta_{ul}$  — вероятности ошибок 1-го и 2-го родов при определении  $u$ -го дефекта по  $l$ -му диагностическому параметру.

Вероятности  $P_{sj}^I$  и  $P_{sj}^{II}$  определяются аналогично.

Для определения вероятностей  $P_{js}^I$  и  $P_{js}^{II}$  в случае применения операционного контроля разборочного процесса необходимо ввести целочисленную переменную

$$\delta_{uh} = \begin{cases} 1, & \text{если в процессе операционного контроля разборочного процесса } u\text{-й дефект агрегата оценивается } h\text{-м параметром;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Вероятности  $P_{js}^I$  и  $P_{js}^{II}$  в этом случае будут равны:

$$\left. \begin{aligned} P_{js}^I &= \sum_{u=1}^U \delta_{uj} (\delta_{uj} - \delta_{us}) \sum_{l=1}^L \sum_{h=1}^H \delta_{ul} \alpha_{ul} \times \\ &\times \delta_{uh} [\alpha_{ul} \alpha_{uh} + (1 - \alpha_{ul}) \alpha_{uh}] + \\ &+ \delta_{ul} (1 - \delta_{uh}) \alpha_{ul} + (1 - \delta_{ul}) \delta_{uh} \alpha_{uh}; \\ P_{js}^{II} &= 1 - \prod_{u=1}^U \delta_{us} (\delta_{us} - \delta_{uj}) \left\{ 1 - \right. \\ &- \sum_{l=1}^L \sum_{h=1}^H \delta_{ul} \delta_{uh} [\beta_{ul} \beta_{uh} + (1 - \beta_{ul}) \times \\ &\times \beta_{uh}] + \delta_{ul} (1 - \delta_{uh}) \beta_{ul} + (1 - \delta_{ul}) \times \\ &\times \delta_{uh} \beta_{uh} \left. \right\}. \end{aligned} \right\} (22.18)$$

Где  $\alpha_{uh}$ ,  $\beta_{uh}$  — вероятности ошибок 1-го и 2-го родов при определении  $u$ -го дефекта по  $h$ -му параметру.

Вероятности  $P_{sj}^I$  и  $P_{sj}^{II}$  определяются аналогично.

Вероятности ошибочного назначения технологического маршрута  $MI$  вместо  $MS$ , а  $M_s$  вместо  $M_j$  определяются так:

$$\left. \begin{aligned} P_{js}^I &= 1 - (1 - P_{js}^I)(1 - P_{js}^{II}); \\ P_{sj}^I &= 1 - (1 - P_{sj}^I)(1 - P_{sj}^{II}). \end{aligned} \right\} (22.19)$$

Составляющие формулы (22.19) определяются по формулам (22.17) или (22.18), причем формулы (22.17) являются частным случаем формул (22.18), в чем легко убедиться, подставив в формулы (22.18) все  $\delta_{uh} = 0$ .

Потери  $S_k$ , обусловленные неполным соответствием устраняемых на  $k$  технологических маршрутах дефектов фактическим сочетаниям дефектов агрегатов, поступающих на эти маршруты, возникают при объединении технологических маршрутов. Пусть исходное число технологических маршрутов равно числу сочетаний дефектов ( $k=Q$ ), т. е. каждому сочетанию дефектов соответствует свой технологический маршрут. Тогда при переходе от  $Q$  сочетаний дефектов к  $k$  технологическим маршрутам потери

$$S_k = 2 \sum_{v=1}^{Q-k} S_v^{(js)}, \quad (22.20)$$

где  $S_v^{(js)}$  — потери на  $v$ -м шаге, когда  $y$ -й и  $s$ -й технологические маршруты объединяются в один маршрут.

Потери

$$S_v^{(js)} = N \sum_{u=1}^U C_u [k_j (\delta_{us} - \delta_{uj} \delta_{us}) + k_s X \times (\delta_{uj} - \delta_{us} \delta_{uj})], \quad (22.21)$$

где  $C_u$  — затраты на устранение  $u$ -го дефекта.

Наконец, затраты на выполнение контрольно-диагностических операций

$$D_k = 2 \left( \sum_{u=1}^U \sum_{l=1}^L \delta_{ul} C_l + \sum_{h=1}^H \delta_{uh} C_h \right), \quad (22.22)$$

где  $C_l$  и  $C_h$  — затраты на измерение  $l$ -го и  $h$ -го диагностических параметров.

Математическая модель задачи формирования технологических маршрутов ремонта и расстановки контрольно-диагностических операций включает целевую функцию (22.15) и следующую совокупность ограничений:

$$\sum_{u=1}^U \delta_{ul} \geq 1; \quad \sum_{u=1}^U \delta_{uh} \geq 1; \quad (22.23)$$

т. е. не может быть диагностических параметров, не позволяющих выявить хотя бы один дефект;

$$\left. \begin{aligned} \sum_{l=1}^L \delta_{ul} \leq 1; \quad \sum_{h=1}^H \delta_{uh} \leq 1; \\ \sum_{l=1}^L \delta_{ul} + \sum_{h=1}^H \delta_{uh} \geq 1, \end{aligned} \right\} \quad (22.24)$$

т. е. каждый дефект оценивается не более чем одним диагностическим параметром при предремонтном диагностировании и не более чем одним при приремонтном диагностировании, но оценивается обязательно;

$$\sum_{u=1}^U \delta_{uj} \geq 1; \quad \sum_{u=1}^U \delta_{us} \geq 1, \quad (22.25)$$

т. е. не может быть технологических маршрутов, на которых не устраняется ни одного дефекта агрегата;

$$\sum_{j=1}^K \delta_{uj} \geq 1; \quad \sum_{s=1}^K \delta_{us} \geq 1, \quad (22.26)$$

т. е. каждый дефект обязательно устраняется хотя бы на одном технологическом маршруте;

$$\delta_{ul} = \delta_{ul}^2; \quad \delta_{uh} = \delta_{uh}^2; \quad \delta_{uj} = \delta_{uj}^2; \quad \delta_{us} = \delta_{us}^2, \quad (22.27)$$

т. е. целочисленные переменные могут принимать только два значения: 0 или 1.

Решение задачи включает пять этапов.

1. Число технологических маршрутов ремонта  $k$  принимают равным числу сочетаний дефектов  $Q$ , т. е. формируют матрицу  $(\delta_{uj})$  размерностью  $U \times k$ , где  $k = Q$ .

2. Полагают все  $\delta_{uh}$  равными нулю, что означает отсутствие операций приремонтного диагностирования. При этом ограничения (22.23) преоб-

разуются к виду  $\sum_{u=1}^U \delta_{ul} \geq 1$ , а (22.24) — к виду  $\sum_{l=1}^L \delta_{ul} = 1$ , т. е. совокупность

диагностических параметров и технических средств предремонтного диагностирования должна давать возможность выявить все дефекты агрегата. При этих условиях для всех пар технологических маршрутов по формулам (22.17) рассчитывают вероятности  $P_{js}^l, P_{js}^{ll}, P_{sj}^l, P_{sj}^{ll}$ , по формулам (22.19) —  $P_{js}$  и  $P_{sj}$ , а затем по формуле (22.16) — потери  $C_k$ . По формуле (22.22) рассчитывают затраты  $D_k$ , а по формулам (22.21) и (22.20) — потери  $St$ . Следует иметь в виду, что при начальных условиях  $S_k = 0$ . Наконец, по формуле (22.15) определяют значение целевой функции  $F_v^{(0)}$ , где  $v$  — шаг вычислений (для начального шага  $v = 1$ ).

3. Определяют целесообразность выполнения операций приремонтного диагностирования. Для этого вычисляют значения целевой функции  $F_v^{(h)}$  для  $h = 1, 2, \dots, Я$ , где  $h$  — номер операции приремонтного диагностирования, т. е. на первом шаге вычислений поочередно включают в технологический процесс возможные операции приремонтного диагностирования и рассчитывают соответствующее значение целевой функции. Если выполняется условие  $F_v^{(h)} < F_v^{(0)}$ , то включение в технологический процесс  $h$ -й операции приремонтного диагностирования целесообразно. Это произойдет для тех контрольно-диагностических операций, включение которых в технологический про-

цесс приводит к такому снижению вероятностей ошибок диагностирования, рассчитанных по формулам (22.18), по сравнению с вероятностями (22.17), что станут оправданными затраты на выполнение этих операций. В результате выполнения этапа 3 получают значение целевой функции  $\hat{F}_v$ , соответствующее наилучшему набору операций приремонтированного диагностирования на  $V$ -М шаге.

4. Переходят к следующему шагу вычислений  $v$ . Для определения целесообразности объединения технологических маршрутов перебирают все пары маршрутов. Пусть из матрицы  $(\delta_{ij})$  выбраны маршруты  $j$  и  $s$ . При их объединении получится новый маршрут, предусматривающий устранение всех дефектов, входящих и в маршрут  $j$  и в маршрут  $s$ , а размерность матрицы  $(\delta_{ij})$  станет  $U \times (K-1)$ , т. е. в новой матрице будет на один столбец меньше. Это может привести к сокращению затрат  $D_k$  на выполнение контрольно-диагностических операций за счет исключения некоторых из них и заведомо приведет к сокращению потерь  $C_k$  от ошибок в назначении маршрутов, так как число маршрутов уменьшится. Одновременно увеличатся потери  $S_k$  от объединения технологических маршрутов. Для нового числа технологических маршрутов, выраженных новой матрицей размерностью  $U \times (K-1)$ , выполняют этапы 2 и 3. В результате выполнения этапа 4 для всех пар объединяемых технологических маршрутов получают значения целевой функции  $F_v^{(js)}$  и определяют

$$F_v = \min_{j,s} F_v^{(js)},$$

после чего переходят к этапу 5.

5. Если выполняется условие  $F_v < F_{v-1}$ , т. е. на очередном шаге значение целевой функции уменьшилось, то технологические маршруты  $j$  и  $s$  объединяют, после чего возвращаются к этапу 4. В противном случае вы-

числения прекращают. Полученные на  $(v-1)$ -м шаге совокупности технологических маршрутов ремонта и контрольно-диагностических операций являются наилучшими.

### 22.7.3. Формирование технологических операций поточной сборки (разборки) изделий,

Технологические операции сборки (разборки) следует сформировать так, чтобы:

каждый технологический переход входил только в одну операцию; продолжительность каждой операции не превышала такт производства;

была соблюдена технологическая последовательность выполнения переходов;

были соблюдены логические условия;

потери рабочего времени были минимальны.

При переходе от содержательного описания задачи формирования сборочных (разборочных) технологических операций к ее формализации первые четыре условия могут быть приняты в качестве ограничений, а пятое — в качестве целевой функции. Введем обозначения:  $i, j$  — индексы переходов ( $i = \overline{1, m}$ ;  $j = \overline{1, n}$ );  $t_i$  — длительность выполнения  $i$ -го перехода;  $P_i$  — числовой код  $i$ -го перехода;  $s$  — порядковый номер технологической операции ( $s = \overline{1, S}$ );  $\delta_{is}$  — целочисленная (булева) переменная:

$$\delta_{is} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й переход включен в} \\ & s\text{-ю операцию;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Первое условие — каждый переход входит только в одну операцию — будет выполнено, если для каждого  $i$

$$\sum_{s=1}^S \delta_{is} = 1, \quad (22.28)$$

т. е. лишь для одной  $s$ -й операции  $\delta_{is} = 1$ .

Второе условие — непревышение продолжительностью каждой операции такта производства — будет соблюдено, если для каждого  $s$

$$\sum_{i=1}^m t_i \delta_{is} \leq \tau. \quad (22.29)$$

Технологическая последовательность выполнения переходов будет соблюдена, если для каждой пары взаимосвязанных переходов  $i$  и  $j$ , где  $i$  непосредственно предшествует  $j$ , выполняется условие

$$\delta_{js} \leq \sum_{k=1}^s \delta_{ik}, \quad (22.30)$$

т. е.  $j$ -й переход может быть включен в  $s$ -ю операцию (при этом переменная  $\delta_{js}$  принимает значение единицы) только тогда, когда  $i$ -й переход уже включен либо в одну из предыдущих, либо в данную  $s$ -ю операцию (при этом правая часть неравенства принимает значение единицы).

Условие недопустимости включения в одну технологическую операцию переходов  $i$  и  $j$  с разными значениями числовых кодов имеет вид

$$|P_i - P_j| \delta_{is} + |P_i - P_j| \delta_{js} \leq |P_i - P_j|. \quad (22.31)$$

При равенстве кодов  $P_i$  и  $P_j$  это условие выполняется всегда, при неравенстве кодов — только в том случае, если в  $s$ -ю операцию либо включен один из рассматриваемых переходов, либо не включен ни тот, ни другой.

При соблюдении условия (22.29) неизбежны потери рабочего времени, вызванные недогрузкой рабочих на отдельных операциях. Целевая функция — минимум этих потерь — имеет вид

$$\sum_{s=1}^S \left( \tau - \sum_{i=1}^m t_i \delta_{is} \right) \rightarrow \min.$$

Обозначив продолжительность  $s$ -й операции

$$T_s = \sum_{i=1}^m t_i \delta_{is},$$

имеем

$$\sum_{s=1}^S (\tau - T_s) \rightarrow \min,$$

а введя обозначение суммарной продолжительности выполнения всех

операций (или переходов)  $T = \sum_{s=1}^S m_s$ ,

получим  $\tau S - T \rightarrow \min$ . Поскольку такт производства и длительности выполнения переходов уже определены, в рамках решаемой задачи  $\tau = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ , откуда целевая функция принимает вид

$$S \rightarrow \min, \quad (22.32)$$

т. е. минимизация потерь рабочего времени эквивалентна минимизации числа технологических операций при соблюдении ограничений (22.28)... (22.31).

Будем полагать, что для всех технологических переходов выполняется условие  $t_i \leq \tau$ . Если же для какого-либо  $i$ -го перехода это условие не выполняется, в качестве продолжительности его выполнения берут величину

$$t_i = t_i - [t_i/\tau]\tau,$$

где  $[t_i/\tau]$  — антье (целая часть числа), показывающая, сколько дополнительных рабочих мест необходимо предусмотреть на операции, где выполняется  $i$ -й переход.

Технологические операции формируют последовательно, начиная с первой. На каждом шаге в формируемую операцию включают только один переход. Для выбора этого перехода вначале из множества переходов  $D$  отбирают такие, которые на очередном шаге не имеют предшественников (их предшественники уже включены в предыдущие или формируемую операцию). Подмножество переходов, которые на  $v$ -м шаге можно включить в формируемую операцию, не нарушая заданной технологической последовательности их выполнения, назовем  $u$ -допустимым под-

множеством и обозначим  $D_u^{(v)} (D_u^{(v)} \subset \subset D)$ .

Пусть для формируемой операции установлены логические условия ее выполнения, характеризуемые числовым кодом  $P_s$  (в общем случае число условий и кодов может быть любым, включая и их отсутствие). Тогда из  $u$ -допустимого подмножества отбирают переходы, имеющие код  $P_i = P_s$ .

Они образуют  $p$ -допустимое подмножество  $D_p^{(v)}$ , причем  $D_p^{(v)} \subset \subset D_u^{(v)} \subset \subset D$ .

Отбирая из  $D_p^{(v)}$  переходы, включение которых в формируемую  $s$ -ю операцию не приведет (с учетом продолжительности выполнения уже включенных в  $s$ -ю операцию переходов) к нарушению условия (22.29), получим на  $v$ -м шаге  $t$ -допустимое подмножество  $D_t^{(v)}$ , причем  $D_t^{(v)} \subset \subset D_p^{(v)} \subset \subset D_u^{(v)} \subset \subset D$ .

Так, последовательно сужая совокупность переходов, которые на  $V$ - $M$  шаге можно включить в формируемую  $s$ -ю операцию, приходят к подмножеству  $D_i^{(v)}$ . При этом возможны три ситуации.

1. На  $v$ -м шаге  $D_i^{(v)} = \emptyset$  (пустое подмножество), т. е. переходов, которые можно включить в формируемую операцию, нет. В этом случае операция  $s$  сформирована, и переходят к формированию следующей  $(s+1)$ -й операции.

2. На  $v$ -м шаге  $D_i^{(v)}$  содержит только один переход. Тогда его включают в формируемую операцию и переходят к следующему  $(v+1)$ -му шагу формирования этой же операции.

3. На  $v$ -м шаге  $D_i^{(v)}$  содержит несколько переходов. В этом случае, пользуясь некоторым приоритетным правилом, из  $D_i^{(v)}$  выбирают один переход, включают его в формируемую операцию и переходят к следующему  $(v+1)$ -му шагу формирования этой же операции.

Примеры приоритетных правил, используемых для выбора переходов: равновероятный выбор (с помощью таблицы или датчика случайных чисел);

выбор перехода с максимальной длительностью выполнения;

выбор перехода, для которого максимально число следующих за ним переходов;

выбор перехода, для которого максимальна длительность выполнения всех следующих за ним переходов;

выбор перехода, для которого максимально отношение длительности выполнения всех следующих за ним переходов к длительности его выполнения;

рандомизированный выбор (вначале с заранее заданной вероятностью выбирается одно из нескольких приоритетных правил, а затем по этому правилу выбирается переход).

При наличии двух или нескольких переходов с одинаковой степенью приоритета выбирают переход с меньшим порядковым номером.

Кроме перечисленных, могут использоваться и другие приоритетные правила. От выбранного правила в некоторой степени зависит результат решения задачи формирования технологических операций. Однако нельзя указать какое-либо одно правило, приводящее всегда к наилучшему решению. Поэтому рекомендуется использовать различные приоритетные правила и выбирать наилучший вариант решения после сравнения полученных результатов.

**Пример.** Сформировать технологические операции сборочного процесса при такте производства  $\tau = 10$  мин. Последовательность выполнения технологических переходов задана графом на рис. 22.17, а характеристики переходов — в форме 22.1.

Используемое приоритетное правило — выбор перехода с максимальной длительностью выполнения.

В рассматриваемом примере код  $P$  означает профессию исполнителя: 1 — слесарь-сборщик; 2 — сварщик. Переходы, имеющие разные значения кода  $P$ , нельзя включать в одну операцию. Код  $P$  — сторона конвейера: 1 — левая; 2 — правая; 0 — любая. Переходы с кодами  $P=1$  и  $P=2$  несовместимы в одной операции, но с любым из них совместим переход с кодом  $\bar{P}=0$ .

Например, переходы  $u_1, u_2, u_3$  можно включать в одну операцию, а переходы  $u_6$  и  $u_7$  или  $u_2$  и  $u_7$  нельзя.

**Решение.** Формировать  $u$ -допустимые подмножества переходов удобно в виде мат-

	Z <sub>0</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>	Z <sub>7</sub>	Z <sub>8</sub>	Z <sub>9</sub>	Z <sub>10</sub>	Z <sub>11</sub>
U <sub>1</sub>	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
U <sub>2</sub>	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
U <sub>3</sub>	1	0	∞	0	0	0	0	X	X	X	X	X
U <sub>4</sub>	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X
U <sub>5</sub>	1	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X
U <sub>6</sub>	1	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X
U <sub>7</sub>	3	3	3	2	2	1	1	0	X	X	X	X
U <sub>8</sub>	1	1	1	1	0	0	X	X	X	X	X	X
U <sub>9</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	X	X	X
U <sub>10</sub>	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	X	X
U <sub>11</sub>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	X

Рис. 22.19. Матрица формирования операций

рицы (рис. 22.19). В столбце Z<sub>0</sub> проставлено число предшественников, которое каждый переход имеет в начальный момент v = 0 формирования первой операции. D<sub>u</sub><sup>(0)</sup> = {u<sub>1</sub>}, т. е. только переход u<sub>1</sub> не имеет предшественников. Так как коды логических условий выполнения первой операции еще не установлены, переход u<sub>1</sub> является p-допустимым и D<sub>p</sub><sup>(0)</sup> = {u<sub>1</sub>}. Будучи включенным в первую операцию, переход u<sub>1</sub> длительностью 6 мин не превысит такт произ-

### Форма 22.1. Исходные данные

Переход	t <sub>н</sub> , мин	Числовые коды		Предшественники
		P	-P	
u <sub>1</sub>	6	1	0	—
u <sub>2</sub>	2	1	1	u <sub>1</sub>
u <sub>3</sub>	5	1	0	u <sub>1</sub>
u <sub>4</sub>	7	2	0	u <sub>1</sub>
u <sub>5</sub>	1	2	2	u <sub>1</sub>
u <sub>6</sub>	2	2	2	u <sub>2</sub>
u <sub>7</sub>	3	1	2	u <sub>3</sub> , u <sub>4</sub> , u <sub>5</sub>
u <sub>8</sub>	6	1	1	u <sub>6</sub>
u <sub>9</sub>	5	2	0	u <sub>7</sub>
u <sub>10</sub>	5	2	0	u <sub>5</sub>
u <sub>11</sub>	8	2	0	u <sub>9</sub> , u <sub>10</sub>

### Форма 22.2 Результаты формирования технологических операций

№ операции	Содержание операций (переходы)	Коды		Продолжительность T, мин
		P	-P	
1	u <sub>1</sub> , u <sub>8</sub>	1	1	8
2	u <sub>4</sub> , u <sub>6</sub> , u <sub>5</sub>	2	2	10
3	u <sub>8</sub>	1	1	6
4	u <sub>1</sub> , u <sub>7</sub>	1	2	8
5	u <sub>9</sub> , u <sub>10</sub>	2	0	10
6	u <sub>11</sub>	2	0	8

водства τ = 10 мин, поэтому D<sub>i</sub><sup>(0)</sup> = {u<sub>1</sub>}. Мы пришли ко второй возможной ситуации (D<sub>i</sub><sup>(0)</sup> содержит только один переход), поэтому переход u<sub>1</sub> включаем в первую операцию и переходим к следующему шагу ее формирования. Предварительно заметим, что первая операция получила код P = 1, т. е. выполняется слесарем-сборщиком, и код Я = 0, т. е. пока все равно, с какой стороны конвейера. Длительность первой операции после выполненного шага составляет 6 мин.

Вычеркнем строку u<sub>1</sub> и заполним столбец Z<sub>1</sub> матрицы формирования операций. Из графа видно, что включение в первую операцию перехода u<sub>1</sub> лишило предшественника, которым он был, переходов u<sub>2</sub>, из, u<sub>4</sub>, u<sub>5</sub>. Из столбца Z<sub>1</sub> матрицы имеем D<sub>u</sub><sup>(1)</sup> = {u<sub>2</sub>, u<sub>3</sub>, u<sub>4</sub>, u<sub>5</sub>}. Затем получим D<sub>p</sub><sup>(1)</sup> = {u<sub>2</sub>, u<sub>3</sub>}, так как переходы u<sub>4</sub>, u<sub>5</sub> имеют код P = 2, а первая операция — код P = 1, вследствие чего переходы u<sub>4</sub>, u<sub>5</sub> не являются p-допустимыми. Определяем D<sub>i</sub><sup>(1)</sup> = {u<sub>2</sub>}, так как переход из не является i-допустимым: его включение в первую операцию увеличит время ее выполнения до 11 мин, что превышает такт производства.

Опять приходим ко второй возможной ситуации, включаем переход U<sub>2</sub> в первую операцию и переходим к следующему шагу ее формирования. Заметим, что теперь для первой операции установлен и код P = 1, т. е. она выполняется с левой стороны конвейера, как и включенный в нее переход u<sub>2</sub>. Продолжительность выполнения первой операции достигла 8 мин.

Вычеркнем строку u<sub>2</sub> и заполним столбец Z<sub>2</sub> матрицы, откуда имеем D<sub>u</sub><sup>(2)</sup> = {u<sub>3</sub>, u<sub>4</sub>, u<sub>5</sub>, u<sub>6</sub>}, а затем — D<sub>p</sub><sup>(2)</sup> = {u<sub>3</sub>}, D<sub>i</sub><sup>(2)</sup> = ∅. Мы пришли к первой возможной ситуации, следовательно, формирование первой операции закончено.

В матрице изменений не произошло, поэтому при формировании второй операции по-прежнему D<sub>i</sub><sup>(2)</sup> = {u<sub>3</sub>, u<sub>4</sub>, u<sub>5</sub>, u<sub>6</sub>}. Однако теперь D<sub>p</sub><sup>(2)</sup> = {u<sub>3</sub>, u<sub>4</sub>, u<sub>5</sub>, u<sub>6</sub>} и D<sub>i</sub><sup>(2)</sup> = {u<sub>3</sub>, u<sub>4</sub>, u<sub>5</sub>, u<sub>6</sub>}, так как коды логических условий выполнения второй операции в отличие от первой еще не установлены и ее продолжительность пока нулевая. Мы пришли к третьей возможной ситуации (D<sub>i</sub><sup>(2)</sup> содержит несколько переходов), что требует применения приоритетного правила: max{t<sub>3</sub>, t<sub>4</sub>, t<sub>5</sub>, t<sub>6</sub>} = t<sub>4</sub>, поэтому включаем во вторую операцию переход u<sub>4</sub>.

Дальнейшие действия аналогичны рассмотренным. Результаты формирования технологических операций сведены в форму 22.2.

### 22.7.4. Составление схем сборки и разборки

Схемой сборки (разборки) изделия называется графическое изображение в виде условных обозначений, последовательности сборки (разбор-

ки) изделия или его составной части. Для составления схемы после технологического анализа конструкции изделия его делят на узлы первого, второго и других более высоких порядков (или по ступеням вхождения).

Схемы строят отдельно для общей сборки (разборки) изделия и сборки (разборки) каждого из его узлов. Схема общей сборки изделия показана на рис. 22.20. Каждый элемент изделия условно обозначен на схеме прямоугольником, разделенным на три части. В верхней части указывают наименование элемента, в левой нижней части — его обозначение (индекс), в правой нижней части — число одноименных элементов. Индексы элементов соответствуют номерам деталей и узлов на чертежах и в спецификациях. На рис. 22.21 даны схемы узловой сборки изделия, общая сборка которого показана на рис. 22.20.

Схему сборки начинают с базовой детали (узла) и заканчивают готовым изделием (узлом). Между ними проводят осевую линию, сверху которой показывают присоединяемые детали, снизу — сборочные единицы. Схему разборки, наоборот, начинают с изделия (узла) и заканчивают базовой деталью (узлом). Последовательность установки и снятия составных частей изделия определяют при решении задачи формирования технологических операций сборки и разборки.

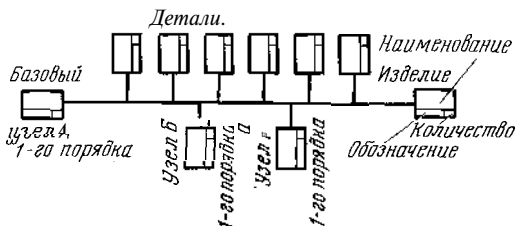


Рис. 22.20. Схема общей сборки

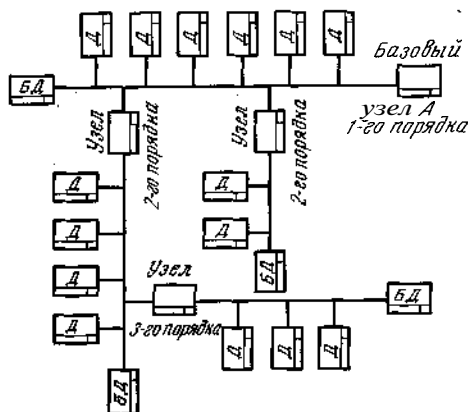


Рис. 22.21. Схема узловой сборки:  
БД — базовая деталь; Д — деталь

При необходимости на схемах сборки показывают расстановку контрольных операций, делают дополнительные надписи, определяющие содержание сборочных и контрольных операций, например «приварить», «сверлить совместно с...», «отрегулировать зазор...» и т. п.

## Глава 23

### ИСПЫТАНИЯ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ И АГРЕГАТОВ

#### 23.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под испытанием понимают экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздей-

ствий. При испытаниях характеристики свойств объекта могут либо оцениваться, если задачей испытаний является получение количественных или качественных оценок, либо контролироваться, если задачей испытаний является только установление соответствия характеристик объекта заданным требованиям.

Испытания классифицируются: *по назначению* — исследовательские, сравнительные, контрольные и определительные;

*по уровню проведения испытания* — государственные, межведомственные и ведомственные;

*по этапу разработки продукции* — доводочные, предварительные и приемочные;

*по виду контроля готовой продукции* — квалификационные, предъявительские, приемо-сдаточные, периодические, инспекционные, типовые, аттестационные и сертификационные;

*по условиям и месту проведения* — лабораторные, стендовые, полигонные, натурные, с использованием моделей и эксплуатационные;

*по продолжительности* — нормальные, ускоренные и сокращенные;

*по виду воздействия* — механические, климатические, термические, радиационные, электрические, электромагнитные, магнитные, химические и биологические;

*по результату воздействия* — разрушающие, разрушающие, на стойкость, на прочность и на устойчивость;

*по определяемым характеристикам объекта* — функциональные, на надежность, граничные, технологические, на транспортабельность.

На предприятиях по ремонту автомобилей и их агрегатов испытаниям подвергаются как отремонтированные изделия (детали, узлы, агрегаты), так и технологические процессы, методы и способы восстановления работоспособности или отдельных свойств объектов ремонта, комплектующие изделия и др.

Для проведения испытаний разрабатывают программу и методику испытаний, оба документа обязательны для исполнения. *Программа испытаний* — это организационно-методический документ, устанавливающий объект и цели испытаний, виды, последовательность и объем проводимых экспериментов, порядок, условия, место и сроки проведения испытаний,

обеспечение и отчетность по ним, а также ответственность за обеспечение и проведение испытаний. *Методика испытаний* — это организационно-методический документ, включающий *метод испытаний*, средства и условия испытаний, отбор проб, алгоритмы выполнения операций по определению одной или нескольких взаимосвязанных характеристик свойств объекта, формы представления данных и оценивания точности, достоверности результатов, требования техники безопасности и охраны окружающей среды.

По результатам испытаний составляется *протокол испытаний*, который содержит необходимые сведения об объекте испытаний, применяемых методах, средствах и условиях испытаний, результаты испытаний, а также заключение по результатам испытаний. Протокол оформляется в установленном порядке.

*Исследовательские испытания* проводятся для изучения определенных характеристик свойств объекта, при *контрольных испытаниях* оценивается качество объекта, *сравнительные испытания* предназначены для сравнения характеристик свойств одинаковых (или аналогичных по характеристикам) объектов, а *определятельные испытания* проводят для определения значений характеристик объекта с заданными значениями показателей точности и достоверности.

По уровню проведения различают *государственные, межведомственные и ведомственные испытания*, которые в большинстве случаев являются приемочными, но в первом случае проводятся для важнейших видов продукции государственной комиссией, во втором — представителями ведомств, в третьем — комиссией одного ведомства.

Различают несколько видов испытаний, проводимых на разных этапах разработки, производства и ремонта изделий (рис. 23.1).

В рамках исследовательских испытаний проводят *лабораторные, полигонные, стендовые и натурные*



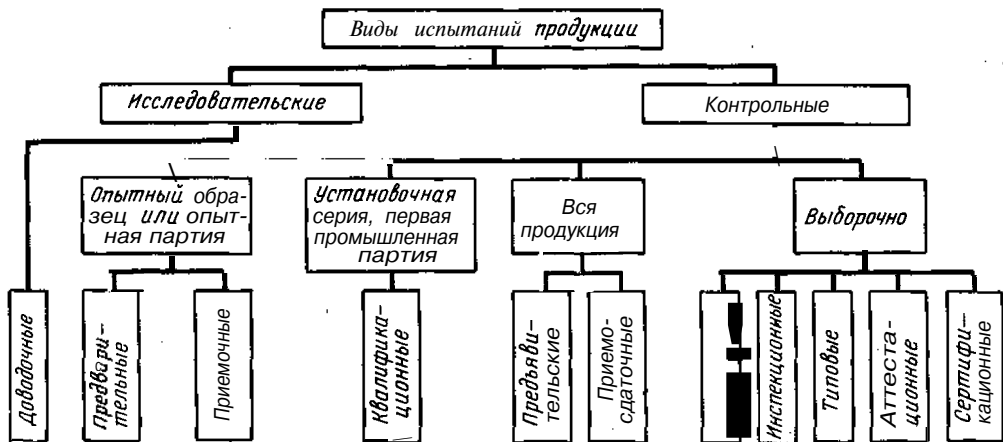


Рис. 23.1. Виды испытаний изготавливаемой, ремонтируемой и готовой продукции.

*испытания.* Натурные испытания проводят в условиях, соответствующих условиям использования объекта по прямому назначению с непосредственным оцениванием или контролем определяемых характеристик его свойств. Данные натурных испытаний служат в качестве исходных данных для проведения испытаний с использованием моделей. *Испытания с использованием моделей* предполагают проведение расчетов на математических или физико-математических моделях.

*Эксплуатационные испытания* проводятся при эксплуатации объекта. Одними из основных видов являются *опытная* и *подконтрольная эксплуатация*, для чего разрабатывается документация и специально подготавливается персонал.

В зависимости от задач, целей и сроков испытания могут быть *нормальными* (информация о характеристиках свойств объекта собирается за срок, предусмотренный условиями эксплуатации), *ускоренными* (в этом случае обеспечивается получение информации в более короткий срок) и *сокращенными* (в этом случае программа испытаний сокращается).

*Граничные* и *технологические испытания* являются одними из самых существенных, которые выполняются на этапе технологической подготовки

авторемонтного производства и позволяют оценить зависимость между предельно допустимыми значениями параметров объекта и режимом эксплуатации и ремонтпригодность продукции.

### 23.2. ИСПЫТАНИЯ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Испытание отремонтированных тем или иным способом деталей производится как на этапе разработки метода восстановления, так и при серийном восстановлении деталей на производстве. При разработке метода восстановления отремонтированные детали испытывают на точность, потери на трение, прочность, жесткость, теплостойкость, износостойкость и виброустойчивость. Часть методов испытаний используется и при серийном восстановлении деталей.

Испытание деталей при разработке методов восстановления проводят на экспериментальных установках, которые позволяют испытывать образцы, использовать форсированные режимы, проводить точные измерения, и в натурных узлах и машинах, позволяющих выполнять испытания в условиях, близких к эксплуатационным. Испытания отремонтированных деталей в условиях производства сво-

дятся к проверке точности обработки и неразрушающему контролю.

Параметры деталей при испытании можно определять приборами: механическими, пневматическими, оптическими и электрическими.

Испытания (исследования) деталей на точность проводят как при разработке метода восстановления, так и в серийном производстве. Геометрическую точность проверяют универсальными инструментами для измерения длин, углов, шероховатости поверхности, а также специальными приборами для измерения отдельных деталей — зубчатых колес, резьбы, подшипников качения. Проверяется также непрямолинейность, неплоскостность поверхностей и точность кинематических цепей.

Испытания деталей на трение проводят при исследовательских испытаниях для оценки качества ремонта. При испытаниях на трение определяют механические потери без нагрузки, а также потери под нагрузкой и определяют зависимость КПД от нагрузки. Нагрузку испытываемой детали оценивают с помощью весового устройства балансирного электродвигателя, вал которого опирается на подшипники качения. Момент, создаваемый на статоре, уравнивается грузами или динамометром. Потери под нагрузкой определяют по разности мощности на входе и выходе. Момент на выходе измеряется и создается механическим, гидравлическим, электрическим или другим способом.

Испытания на прочность проводят в рамках исследовательских испытаний для определения напряженного состояния, а также статической, циклической и ударной прочности, прочности при низких и высоких температурах и т. д. Испытания на прочность можно разделить на две большие группы: прямые и косвенные, целью которых является определение пределов выносливости и построение кривых усталости. К прямым методам относятся много- и малообразцовый.

Для построения кривой усталости при многообразцовом методе требуется не менее 10... 15 образцов. Число циклов испытаний должно быть не менее  $10 \cdot 10^6$ . Кривые усталости обычно строят путем графического интерполирования экспериментальных результатов или по точкам эмпирической функции, параметры которой определяются методом наименьших квадратов. Методика многообразцовых испытаний предусматривает испытания образцов на уровне предела выносливости и при более низких напряжениях.

Ускорение получения результатов при усталостных испытаниях достигается за счет повышения частоты, напряжения и исключением тех напряжений в спектре, которые практически не сказываются на усталости. Они позволяют снизить затраты времени, материалов и труда, а также проводить ускоренную оценку усталостной прочности деталей. Этот метод используется при проведении приемочных, приемо-сдаточных и периодических испытаний. Существуют следующие методы ускоренных испытаний: Локати, Одингга-Вейбула, Эномото, Про, а также ряд других.

Метод Локати предусматривает определение предела выносливости по результатам испытания одного (трех) образцов при ступенчато-возрастающей нагрузке. Строят предполагаемые кривые усталости по результатам испытаний образцов или деталей ретроспективных аналогов. Непосредственное испытание образцов и деталей начинают при напряжениях 0,8...1,0 от ожидаемого предела выносливости, а затем напряжения ступенчато увеличивают с постоянным перепадом и одинаковым временем работы на каждой ступени. Основным критерием для определения предела выносливости является полное разрушение образца (детали), а также появление микро- или макротрещин.

При использовании метода Одингга-Вейбула испытывают на несколь-

ких уровнях напряжения при постоянных значениях амплитуд по пять-шесть образцов до излома. Значение долговечности определяется для каждого уровня напряжения, после чего строится кривая усталости и определяется предел выносливости.

Метод Эномото предполагает также испытания при ступенчато-возрастающей нагрузке нескольких образцов. В отличие от метода Одинга-Вейбула образцы до разрушения не доводят. За начальный уровень принимается нагрузка 0,6...0,7 от предполагаемого предела выносливости.

Для ускоренных испытаний в условиях авторемонтного производства может использоваться метод одного образца. В этом случае деталь начинают испытывать при напряжении ниже предела выносливости, а затем при более высоких напряжениях продолжают до тех пор, пока не наступит разрушение. За предел выносливости принимают напряжение, предшествующее тому, при котором произошел излом.

При приемочных и периодических испытаниях отремонтированные детали также подвергаются испытанию на жесткость. Определяется жесткость как отношение силы к перемещению в точках и направлениях, наиболее влияющих на работоспособность узла или агрегата. Испытания проводят при постоянном напряжении.

Испытания на изнашивание отремонтированных деталей наиболее актуальны, поскольку именно износ является одной из основных причин выхода детали из строя. Основная масса деталей автомобиля работает в условиях граничного жидкостного и полужидкостного трения, поэтому при испытаниях деталей, восстановленных тем или иным способом, необходимо учитывать эти виды трения.

Износ деталей оценивается при лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаниях. Одним из наиболее распространенных способов оценки износа деталей является микрометрирование, при котором линей-

ный износ определяется с помощью измерения размеров деталей мерительными инструментами (микрометры, индикаторы и др.). Износ также можно определять взвешиванием, в ходе которого определяется суммарный износ по потерям массы с поверхностей трения.

Степень износа деталей агрегата возможно оценить, используя метод спектрального анализа. С этой целью производится периодический отбор проб масла из масляных ванн картеров испытываемых агрегатов. Износ деталей также можно оценивать с помощью радиоактивных индикаторов. Радиоактивный изотоп, предварительно введенный в изнашиваемый материал, удаляется вместе с частицами износа, измеряемая при этом радиоактивность указывает значение износа. Метод встроенных датчиков позволяет определять износ с помощью фиксации изменения линейных размеров, для чего используются тензодатчики, выходные сигналы которых регистрируются осциллографом. Метод искусственных баз позволяет определить значение износа. По изменению размеров, искусственно нанесенных углублений, выполненных на изнашиваемой поверхности. Углубления выполняют вырезанием лунок, сверлением конических отверстий, отпечатками в форме конуса или пирамиды. Кроме того, для испытания отремонтированных деталей используют методы разрушающего контроля.

### **23.3. ИСПЫТАНИЯ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ АГРЕГАТОВ**

Виды и режимы испытаний агрегатов автомобилей регламентированы государственными и отраслевыми стандартами. Испытаниям отремонтированных изделий, как правило, предшествует их приработка. Приработка и испытания проводятся на завершающей стадии технологического процесса ремонта агрегатов и выполняются на одном стенде. Целью при-

работки и испытания отремонтированного агрегата является подготовка агрегата к восприятию эксплуатационных нагрузок, выявление дефектов, связанных с качеством ремонта деталей и сборки агрегатов, а также проверка соответствия характеристик агрегатов требованиям нормативно-технической документации.

Отремонтированные агрегаты проходят приемочные, контрольные, приемо-сдаточные и эксплуатационные испытания. Приемочные испытания проводят в случае освоения ремонтной модели автомобиля или использования в отремонтированном двигателе деталей, восстановленных новым методом. Эти испытания проводят на опытных образцах. В ходе испытаний определяют скоростные характеристики, устанавливающие зависимость показателей двигателя от частоты вращения коленчатого вала, нагрузочные характеристики, устанавливающие зависимость показателей двигателя от его нагрузки при постоянной частоте вращения коленчатого вала, условную мощность механических потерь и равномерность работы цилиндров двигателя, проверяют двигатели на безотказность.

Внешние скоростные и нагрузочные характеристики оценивают для определения мощности и крутящего момента двигателя при различной частоте вращения коленчатого вала и нагрузки. Условную мощность механических потерь определяют методом прокручивания коленчатого вала двигателя балансирной электрической машиной и методом отключения цилиндров при работе с полностью открытым дросселем (карбюраторные) или полной подачей топлива (дизели). Испытания двигателей на безотказность предусматривают микрометраж деталей и испытания двигателей на стенде в течение определенного периода времени — от 250 ч для двигателей с искровым зажиганием легковых автомобилей до 1000 ч для дизелей. Обработка полученных данных позволяет определить безотказность двигателя

и деталей. Двигатель считается не прошедшим испытания на безотказность при наличии отказов, для устранения которых требуется разборка двигателя со снятием головки цилиндров или масляного картера, появлении стуков, опасных для дальнейшей работы, снижении мощности или экономичности, повышении расхода масла, снижении давления масла в двигателе, чрезмерной дымности, токсичности отработавших газов и т. п.

Контрольные испытания проходят все отремонтированные двигатели после приработки. В ходе контрольных испытаний (они, как правило, совмещены с приработкой) проверяется, нет ли резких стуков и шумов, выделяющихся из общего шума работы двигателя, выбрасывания или течи масла, воды или топлива, пропусков отработавших газов в местах соединений, подсоса воздуха через прокладку впускной трубы и карбюратора. При контрольных испытаниях допускается «потение» (образование масляных пятен без падения капели) в местах сальниковых уплотнений, выделение отдельных капель воды из дренажного отверстия водяного насоса.

Приемо-сдаточные испытания проходят все отремонтированные двигатели на испытательной станции после приработки. Целью приемо-сдаточных испытаний является оценка качества сборки, а также качества приработки сопряжений двигателя. Если в процессе приработки и испытания обнаруживают неполадки, то двигатель отправляют на устранение дефектов, а затем повторно испытывают.

На первом этапе приемо-сдаточных испытаний необходимо проверить комплектность двигателя и затяжку всех наружных резьбовых соединений, качество окраски и покрытий, правильность установления зажигания (для карбюраторных двигателей), уровень масла в картере, отсутствие течи воды и масла и провести запуск двигателя. Двигатель

Таблица 23.1. Режимы прямо-сдаточных испытаний

Операция	Частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>	Нагрузка	Продолжительность, мин
Проверка работы дизеля под переменной нагрузкой	$0,6n_{\max} \dots n_{\max}$	$0,25N_{\max} \dots 0,55N_{\max}$	3...14
То же карбюраторного двигателя	$0,5n_{\max} \dots n_{\max}$	$0,35N_{\max} \dots 0,8N_{\max}$	5
Проверка минимальной частоты вращения холостого хода дизеля	$n_{\min} (400 \dots 600)$	—	3
То же карбюраторного двигателя	$n_{\min} (400 \dots 525)$	—	2
Проверка максимальной частоты вращения холостого хода дизеля	$n_{\max} (2250 \dots 2900)$	—	2
То же карбюраторного двигателя	$n_{\max} (2900 \dots 3200)$	—	2
Проверка развиваемой дизелем мощности	$n_{\max}$	$0,9 \dots 0,95N_{\max}$	3...12
То же карбюраторным двигателем	$0,8n_{\max}$	$0,7N_{\max}$	3
Измерение расхода топлива	$0,6n_{\max}$	$0,5n_{\max}$	3

Обозначения:  $n_{\max}$ ,  $n_{\min}$  — максимальная и минимальная частоты вращения коленчатого вала двигателя;  $N_{\max}$  — максимальная мощность двигателя.

должен устойчиво работать при частоте вращения коленчатого вала 500...600 мин<sup>-1</sup>. Давление в главной масляной магистрали должно соответствовать требованиям технических условий.

В ходе проведения прямо-сдаточных испытаний оценивается мощность, крутящий момент двигателей, определяется их дымность и токсичность. Режимы прямо-сдаточных испытаний зависят от используемого стенда. Для стендов с синхронной частотой вращения ротора 1500 мин<sup>-1</sup> режимы представлены в табл. 23.1.

Приработка и испытания двигателей на авторемонтных предприятиях производятся на обкаточно-тормозных стендах переменного тока, включающих устройство для вращения двигателя в период холодной обкатки и для поглощения мощности двигателя во время горячей обкатки и испытания, а также дополнительное оборудование, обеспечивающее двигатель топливом, охлаждающей водой и смазкой. Стенд состоит из асинхронной электрической машины АБК, которая при холодной обкатке работает в режиме двигателя (рис. 23.2). Во время горячей обкатки электрическая машина работает в режиме генератора, отдавая ток в электрическую сеть. Классификация обкаточно-тормозных стендов в зависимости от

мощности электрической машины представлена в табл. 23.2.

Последовательность выбора стендов для обкатки и испытания двигателей:

номинальный крутящий момент электрической машины при работе в режиме двигателя должен быть не менее номинального крутящего момента двигателя;

синхронная частота электрической машины должна быть ниже номинальной частоты вращения коленчатого вала двигателя не менее чем на 15...20 %;

максимальная частота вращения вала двигателя в режиме холодной обкатки должна быть ниже синхронной частоты электрической машины не менее чем на 5 %;

Таблица 23.2. Обкаточно-тормозные стенды серии КИ

Модели стендов	Мощность балансирующей асинхронной электрической машины с фазовым ротором, кВт	Синхронная частота вращения фазового ротора, мин <sup>-1</sup>
4893, 5542, 1363В	37	1000
2136Б, 5543	55	1500
598БП, 5541	75	750
2118АП, 5540	90	1500
5274	160	1500

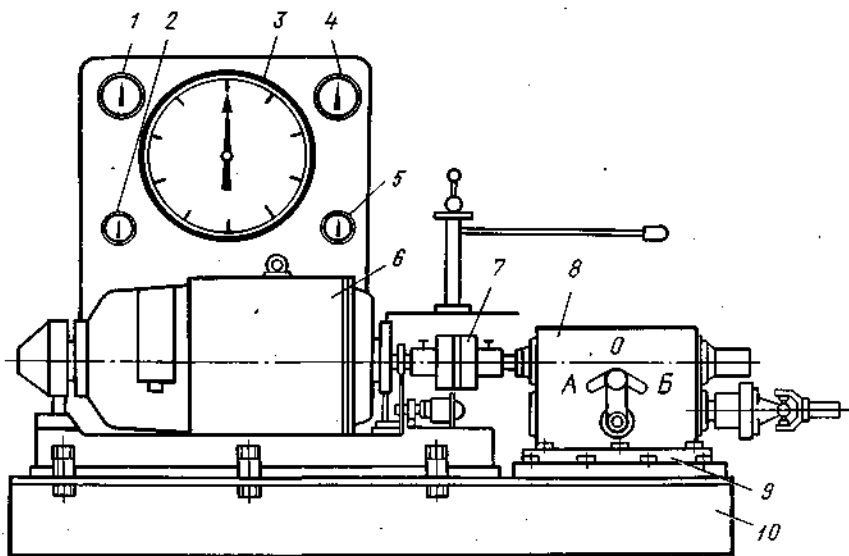


Рис. 23.2. Электротормозной стенд:

1— указатель электротахометра; 2— термометр для воды; 3— циферблат весового механизма; 4— манометр; 5— термометр для масла; 6— электрическая балансирующая машина АКБ; 7— муфта; 8— редуктор; 9— плита; 10— рама

частота вращения электрической машины в режиме генератора не должна превышать ее синхронную частоту в 2 раза.

Кроме того, не рекомендуется допускать крутящий момент свыше 0,9 от значения номинального крутящего момента электрической машины при продолжительных испытаниях.

Эффективную мощность двигателя на стенде определяют путем измерения крутящего момента, развиваемого двигателем при определенной частоте вращения коленчатого вала. Для определения крутящего момента используется тормозное устройство. В первую очередь тормозное устройство предназначено для поглощения механической энергии и преобразования ее в тепловой или электрический вид энергии. Корпус тормоза балансируно закрепляют на стойках и по углу поворота корпуса электромашины определяют механический момент. Для замера тормозного момента при приработке двигателей под нагрузкой или крутящего момента

при холодной приработке используют весовой механизм.

Двигатели первой комплектности должны испытываться на топливную экономичность, для чего используют объемный и весовой способы.

Топливную экономичность двигателей можно определить с помощью расходомера топлива непрерывного действия фотоэлектрического типа К-427, который позволяет оценивать мгновенный и суммарный расходы топлива. Он устанавливается в систему питания двигателя между топливным насосом и карбюратором и фиксирует количество оборотов ротора, который приводится во вращение топливом, протекающим по каналу корпуса.

У двигателей первой комплектности проверяют экологические показатели: токсичность отработавших газов у карбюраторных, дымность у дизельных. Для осуществления этой проверки в газопровод каждого стенда (до соединения с общим газотводом) должна быть введена пробоотборная трубка для подсоединения

шланга к газоанализатору или дымомеру.

Для определения содержания окиси углерода используют приборы, принцип работы которых основан на использовании различной теплопроводности газов при окислении продуктов сгорания (приборы И-СО, К-456) и на поглощении газами инфракрасного излучения (газоанализатор Инфралит-Абгаз).

Предельная норма содержания СО в отработанных газах при минимальной частоте вращения холостого хода составляет не более 3,5 % общего объема, а при частоте вращения коленчатого вала двигателя 0,6 от номинальной — не более 2 %.

Нормируемым показателем дизелей является дымность (оптическая плотность), которая зависит от технического состояния двигателя, топливной аппаратуры и качества топлива. Дымность определяется в режиме свободного ускорения, т. е. при увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя без нагрузки. В этом случае предельное значение дымности равно 40 %. При максимальной частоте вращения коленчатого вала предельное значение дымности не должно превышать 15 %. Для определения дымности используют приборы, основанные на фильтрации газа через специальную бумагу (дымомеры Бош и ИД-1) и на просвечивание газа (дымомеры типа Хартридж).

У отремонтированных двигателей рекомендуется оценивать характеристики вибрации и шума. Спектры шумов исследуют с помощью шумомеров, состоящих из датчика, усилителя и указателя шума в децибелах. Общий указатель шума карбюраторного двигателя составляет 103...105 дБ, а дизеля — 110...112 дБ. Оценка уровня вибрации двигателя производится с помощью пьезоэлектрических датчиков, затем сигнал усиливается и фиксируется с помощью осциллографа или другого регистрирующего прибора. Уровень вибрации на различных частотах позволяет

оценивать состояние отдельных подсистем и деталей испытываемого двигателя.

Наряду с проведением приемо-сдаточных испытаний для отремонтированных двигателей предусмотрено проведение инспекционных испытаний, в ходе которых двигатель частично или полностью разбирают с целью оценки состояния рабочих поверхностей основных деталей. Контрольному осмотру подвергают те двигатели, при обкатке и испытаниях которых возникли подозрения на возможные появления дефектов, а также среди карбюраторных двигателей проверяется каждый 20-й, а среди дизелей — каждый 10-й.

Топливные насосы высокого давления (ТНВД) испытываются по следующим параметрам: неравномерность работы регулятора частоты вращения; условная жесткость пружины регулятора; начало действия регулятора; углы начала и конца впрыскивания; неравномерность подачи топлива и ряд других.

Стенд для испытания и регулирования ТНВД состоит в основном из приводного механизма, мерного блока с мензурками и стендовыми форсунками, топливного бака, счетчика числа циклов, стробоскопического устройства.

Кроме ТНВД, на стендах испытывают топливopодкачивающие насосы, фильтры тонкой очистки топлива, муфты опережения впрыскивания, а на стендах КИ-15711 и -15716 — и ограничители дымления.

У форсунок при испытаниях на стенде КИ-15706 проверяют давление начала впрыскивания топлива, герметичность распылителя, качество распыляемого топлива. Давление начала впрыскивания у форсунок различных двигателей находится в пределах 16,5...18,0 МПа. Герметичность распылителя и качество распыливания проверяют визуально.

Целью испытаний коробок передач является проверка качества восстановления отдельных деталей и в целом качества сборки. Испытания

проводят как под нагрузкой, так и без нагрузки. Сначала испытывают без нагрузки на всех передачах при частоте вращения первичного вала 900...1000 мин<sup>-1</sup>, затем при 1400...1500 мин<sup>-1</sup>. Продолжительность испытания определяется временем, необходимым для прослушивания работы коробки передач и выявления дефектов. При тех же частотах испытывают на каждой передаче по 2...3 мин и под нагрузкой 100...150 Н·м на первичном валу. В ходе испытаний проверяют, нет ли подтеканий масла, самопроизвольного выключения передач, повышенного шума, ударов, стуков. Для испытания коробок передач применяют стенды различной конструкции: электромагнитные, с асинхронным электродвигателем, с нагрузкой внутренними силами и с гидравлическим тормозом.

Отремонтированные задние мосты испытывают с нагрузкой и без нагрузки, как правило, на стендах с асинхронными электродвигателями. Целью испытаний является выявление шумов высокого тона, для чего проводят испытания без нагрузки с частотой вращения ведущей конической шестерни 900...1500 мин<sup>-1</sup> и под нагрузкой 10 кВт в течение 10...15 мин

с частотой вращения 900...1500 мин<sup>-1</sup>. При испытаниях регулируют тормозные механизмы и проверяют работу главной передачи и дифференциала. При испытаниях не допускается нагрев редуктора и ступиц колес.

Требования техники безопасности при проведении испытаний предусматривают проведение инструктажа по общим правилам техники безопасности, инструктажа на рабочем месте. Запрещаются работы по техническому обслуживанию и ремонту стенов без полного снятия напряжения с силового электрошкафа. Необходимо соблюдение чистоты и порядка. Перед проведением испытаний необходимо проверять крепление всех узлов стенда, исправность защитных ограждений, подъемно-транспортных и других механизмов. Запрещается во время испытания агрегата проводить работы по креплению и регулировке. При работе с этилированным бензином требуется особое разрешение санэпидстанции и технической инспекции профсоюза. Испытательная станция должна быть обеспечена средствами пожаротушения из расчета на 50 м<sup>2</sup> площади пола один огнетушитель ОП-5, один огнетушитель ОУ-5 и ящик с песком вместимостью 0,5 м<sup>3</sup>.

## Глава 24

### КАЧЕСТВО РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

#### 24.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Качество ремонта автомобилей является сложной многоаспектной проблемой. При ее решении необходимо учитывать большое число взаимосвязанных технических, технологических, экономических, организационных, социальных, эргономических, экологических, психологических и других факторов, влияние которых не только различно, но и зачастую противоречиво. Отдельные разрозненные, не увязанные в единую схему мероприятия требуют больших

затрат и не дают высокой эффективности. Управление качеством должно вестись системно и быть основано на результатах глубоких исследований.

Качество продукции, как указывалось, характеризуется совокупностью свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Качество автомобилей закладывается при проектировании, начиная с самых ранних его этапов, формируется при изготовлении, проявляется при эксплуатации, поддерживается при техническом обслужи-



вании и ремонте. Эффективность использования автомобилей во многом зависит от качества их ремонта. Качество и себестоимость ремонта в свою очередь в значительной степени зависят от конструкции автомобиля и его агрегатов, технологии изготовления, условий использования, качества технического обслуживания и других факторов.

Управление качеством ремонта основано на принципе обратной связи, использует общие закономерности процесса управления и включает в себя следующие этапы:

формирование конкретных целей и задач управления на определенный период деятельности предприятия, определение необходимого уровня качества;

сбор и обработка информации о качестве отремонтированной продукции и ходе производственного процесса ремонта, определение расхождений между фактическим и заданным уровнем качества;

выявление причин отличия фактического уровня качества от заданного на основе анализа хода производственного процесса с учетом внутренних и внешних факторов;

выработка вариантов мероприятий, направленных на устранение выявленных причин, оценка их эффективности, определение наиболее эффективного комплекса взаимосвязанных мероприятий;

реализация всего комплекса мероприятий;

оценка результатов этого воздействия на производственный процесс ремонта, повторный сбор информации о качестве и т. д.

Процесс управления качеством должен протекать во времени планомерно, на каждом этапе в максимальной степени эффективно должны реализовываться все объективные возможности данного ремонтного предприятия. На качество ремонта влияют все этапы производственного процесса и в управлении качеством участвуют все подразделения предприятия в соответствии со своими

функциями. Система управления качеством является составной частью системы управления производством.

Целью *системы управления качеством* является обеспечение стабильного уровня качества продукции ремонтного предприятия в соответствии с установленными требованиями и повышение на этой основе эффективности ремонтного производства.

Основными функциональными элементами системы являются: технологическая подготовка производства, метрологическое обеспечение, контроль качества, организация трудовой деятельности, материально-техническое обеспечение, организация стабильного уровня качества, надзор за внедрением и соблюдением стандартов, информационное обеспечение системы, планирование и прогнозирование повышения качества, моральное и материальное стимулирование.

Система управления качеством на предприятии строится в соответствии со следующими основными принципами.

Принцип *комплексности* предполагает реализацию технических, технологических, организационных, экономических, социальных и других методов на всех уровнях управления от рабочего до директора.

Принцип *системности* заключается в том, что выработка и реализация всех мероприятий, направленных на повышение качества, осуществляется не изолированно, а во взаимосвязи, образуя единство с внешней средой (автомобильная промышленность, сфера эксплуатации, научные организации, высшие уровни управления).

Принцип *оптимальности* подразумевает увязку, подчинение решения локальных, частных задач управления качеством главной цели функционирования системы.

Принцип *динамичности* предполагает непрерывное развитие системы, совершенствование форм и методов управления, использование передового опыта других предприятий и от-

раслей как в стране, так и за рубежом, внедрение современных достижений науки, техники и технологии в практику авторемонтного производства.

Принцип *плановости* состоит в том, что управление качеством осуществляется на основе научного прогнозирования и планирования повышения качества.

Принцип *эффективности* выдвигает требование строгого всестороннего анализа мероприятий, вырабатываемых и реализуемых в процессе управления качеством.

В процессе развития системы предполагается поэтапная автоматизация процесса управления. Система управления качеством способствует повышению эффективности всей деятельности ремонтного предприятия.

#### **24.2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ И ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ**

Центральным вопросом управления качеством является оценка качества ремонта. Объективная оценка качества необходима для решения таких важных задач, как прогнозирование и планирование качества, ценообразование с учетом качества, оценка эффективности мероприятий, направленных на повышение качества, разработка стандартов и другой нормативно-технической документации, изучение динамики качества, моральное и материальное стимулирование за повышение качества и др. Применяются следующие методы оценки качества: дифференциальный, комплексный, интегральный, экономико-статистический.

*Дифференциальный метод* оценки использует совокупность единичных показателей качества, каждый из которых оценивает отдельные свойства изделия. Методика оценки качества заключается в следующем: определяются совокупность основных свойств изделия, характеризующих его качество; определяются количественные показатели, оценивающие эти свойства; определяются числен-

ные значения этих показателей для оцениваемого изделия и базовые показатели (за базовые показатели принимаются, как правило, показатели нового изделия или нормативные значения показателей); вычисляются относительные показатели качества

$$q_i = P_i/P_{i6} \text{ или } q_i = P_{i6}/P_i,$$

где  $P_i$  — единичный показатель, являющийся количественной характеристикой  $i$ -го свойства оцениваемого изделия;  $P_{i6}$  — такой же показатель базового образца.

Выбор формулы вычисления относительного показателя определяется правилом: «чем выше качество, тем больше значение относительного показателя». Оценка качества осуществляется по относительным показателям качества. Если за базовые показатели приняты нормативные значения, установленные для отремонтированных изделий, то качественной продукция считается при условии, что все относительные показатели, принятые для оценки качества,  $q_i \geq 1$ . При этом, однако, нельзя определить, насколько уровень качества выше нормативного. Если сравнивается качество двух изделий и для одного изделия все  $q_i > 1$ , то качество этого изделия имеет более высокий уровень. Если же часть относительных показателей больше единицы, а часть меньше, то сделать вывод о преимуществе одного изделия перед другим не представляется возможным. Дифференциальный метод не учитывает различие степени важности отдельных свойств продукции в формировании ее качества, предполагая, что все учитываемые свойства одинаково важны.

*Комплексный метод* использует для оценки качества комплексный показатель  $K = f(q_1, q_2, \dots, q_k)$ , являющийся некоторой функцией относительных показателей качества  $q_i$ . Комплексный показатель учитывает степень важности каждого свойства в формировании качества всего изделия с помощью коэффициентов весомости. Наиболее распространенной

формулой для вычисления комплексного показателя является формула среднего арифметического, т. е.

$$K = 2 \sum_{i=1}^k m_i q_i,$$

где  $t$  — коэффициент весомости  $i$ -го свойства;  $q_i$  — относительный показатель, оценивающий  $i$ -е свойство изделия.

По определению 
$$\sum_{i=1}^k 2 m_i = 1.$$

Для определения коэффициентов весомости чаще всего используется метод экспертных оценок. Недостатком среднеарифметического показателя является эффект компенсации. Он заключается в том, что при вычислении среднеарифметического комплексного показателя низкие и даже нулевые значения одних единичных показателей могут формально компенсироваться высокими значениями других показателей, что может не отражать действительного положения с качеством изделий. От этого недостатка свободен среднегеометрический комплексный показатель

качества 
$$K = \prod_{i=1}^k q_i^{m_i},$$
 значительно более чувствительный к низким уровням отдельных свойств.

Существуют и другие формулы для вычисления комплексного показателя. Однако все они обладают рядом недостатков. Формула комплексного показателя предполагает некоторую зависимость от единичных показателей. Так, среднеарифметический показатель линейно зависит от единичных показателей. Однако теоретически не обосновано, как из отдельных свойств формируется общая оценка качества, какова зависимость общей оценки качества изделия от отдельных свойств. Предполагается, что коэффициент весомости для данного  $i$ -го свойства постоянен и не зависит от значения единичного показателя  $P_i$ . В действительности же важность свойства зависит от того, в какой степени изделие им обладает, т. е.  $m_i$  зависит от  $P_i$ .

*Интегральный метод* (показатель *И*) оценивает качество продукции как отношение полезного эффекта от ее использования  $\mathcal{E}$  к совокупным затратам на ее создание и использование  $\mathcal{Z}$ , т. е.  $I = \mathcal{E}/\mathcal{Z}$ . Интегральный показатель имеет четкий физический смысл — количество полезного эффекта, приходящееся на единицу затрат.

*Экономико-статистический метод* оценивает качество по количеству изделий базового качества, замещаемых одним изделием данного качества. Показатель качества продукции, относящейся к категории средств производства,

$$Q = \frac{NQ}{N_0 Q_0} \cdot \frac{P_0 + S_0 N_0}{P + SN},$$

где  $N$  — количество продукции, произведенной изделием (для средств производства);  $Q$  — показатель качества продукции, производимой оцениваемым средством производства;  $P$  — цена изделия;  $S$  — себестоимость произведенной продукции; индекс «0» относится к базовому образцу.

Продукцией автомобильного транспорта является транспортная работа, качество которой также может быть различным.

#### 24.3. ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Важными функциями системы управления качеством являются прогнозирование и планирование качества отремонтированных автомобилей и агрегатов. Решение этих задач должно быть основано на объективной информации о качестве отремонтированной продукции и факторах, влияющих на формирование качества на этапе ремонта. Основной объем этой информации получается экспериментально путем исследования качества.

Качество продукции можно рассматривать в двух аспектах: произ-

водственное и потребительское. *Производственное качество* представляет собой совокупность свойств продукции, сформированных в процессе изготовления или ремонта, и характеризуется физическими, химическими, физико-механическими и другими ее свойствами. Характерными представителями показателей производственного качества отремонтированных автомобилей и агрегатов являются: действительные размеры деталей; погрешности формы и взаимного расположения поверхностей и осей; физико-механические свойства материалов деталей, их рабочих поверхностей, покрытий; размер замыкающих звеньев размерных цепей механизмов; дисбаланс деталей и механизмов и т. п. Производственное качество является объективным свойством изделия и не зависит от конкретных условий его использования.

*Потребительское качество* показывает степень удовлетворения требований потребителя и характеризуется совокупностью показателей, оценивающих такие свойства, как производительность, надежность, качество выполняемой работы, экономичность, эргономичность, экологичность и т. п. Потребительское качество автомобилей проявляется в процессе их использования и зависит от производственного качества и условий эксплуатации.

Методы исследования качества делятся на три основных направления: производственное, потребительское и производственно-потребительское.

Производственное направление в исследовании качества рассматривает только производственное качество продукции. При этом контролируются действительные значения показателей производственного качества, оценивается их соответствие требованиям нормативно-технической документации, определяется процент брака, процент годных изделий, сортность и т. п. На практике это направление является одной из основных функций деятельности службы технического контроля завода. Получае-

мая при этом информация, является необходимой, но недостаточной для эффективного управления качеством, так как отсутствует оперативная информация о потребительских свойствах, которые изготовленные или отремонтированные изделия будут проявлять в сфере эксплуатации.

Потребительское направление в исследовании качества продукции рассматривает только потребительские свойства (производительность, надежность, экономичность, качество выполняемых работ и т. п.). Эта информация, чрезвычайно важная по своей значимости, также является необходимой, но недостаточной для управления качеством. Получение этой информации, особенно информации о надежности, требует значительных затрат времени, что не дает возможности оперативно управлять качеством на этапе изготовления или ремонта автомобилей. Кроме того, в случае неудовлетворенности какими-то потребительскими свойствами изделия нет информации о том, какие показатели производственного качества и на сколько следует изменить, чтобы уровень потребительских свойств соответствовал предъявляемым требованиям.

Производственно-потребительское направление в исследовании качества промышленности продукции рассматривает производственное качество, потребительское качество и взаимосвязь между ними. основоположником этого направления является профессор А. Я. Боярский. Большой вклад в его теоретическое развитие и практическую реализацию внес профессор В. И. Сиськов. Показатели производственного и потребительского качества по своей природе являются случайными величинами и между ними имеется корреляционная связь. Исследование этой взаимосвязи и построение математических моделей, описывающих зависимость показателей потребительского качества от показателей производственного качества, дает возможность решать ряд важнейших задач в плане

управления качеством. Математическая модель  $y = f(x_1, x_2, \dots, X_k)$ , где  $y$  — показатель потребительского качества;  $x_1, x_2, \dots, x_k$  — показатели производственного качества, позволяет решить две основные задачи:

по известным значениям показателей производственного качества  $x_1, x_2, \dots, X_k$  на этапе производства или ремонта прогнозировать потребительские свойства изделий, которые они будут проявлять в эксплуатации;

в соответствии с заданным уровнем потребительских свойств оперативно управлять качеством при изготовлении и ремонте путем целенаправленного воздействия на производственное качество.

Возможность решения этих двух задач дает информационную основу для решения более частных конкретных задач управления качеством:

- оперативная оценка качества на этапе производства или ремонта;
- изучение динамики качества;
- оценка экономической эффективности мероприятий, направленных на повышение качества;
- планирование повышения качества;

- моральное и материальное стимулирование за качество;

- разработка нормативно-технической документации на ремонт и др.

Рассмотрим некоторые из этих задач.

Оперативная оценка качества на этапе производства или ремонта, основанная на прогнозировании потребительских свойств продукции, дает более оперативную и полную информацию о качестве изделий/чем обычный технический контроль на производстве, основанный только на сравнении действительных значений показателей производственного качества с требованиями нормативно-технической документации.

Изучение динамики качества, основанное на ретроспективном анализе изменения уровня потребительских свойств продукции за несколько последних лет, дополняется возможностью с помощью приведенной выше

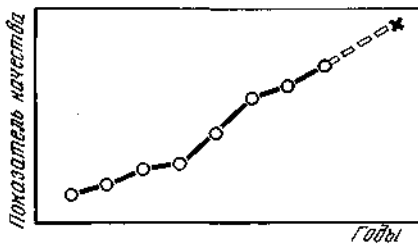


Рис. 24.1. Динамика качества продукции. Сплошная линия — данные о качестве продукции в прошедший период; прерывистая — прогноз

математической модели оперативно оценить уровень потребительского качества продукции, изготавливаемой или ремонтируемой в настоящее время (рис. 24.1).

При оценке экономической эффективности мероприятий, направленных на повышение качества, должны учитываться затраты на реализацию этих мероприятий и прирост потребительского качества. Не имея прогнозной модели, можно оценить предстоящие затраты, связанные с внедрением нового оборудования или технологии  $C$ , повышение производственного качества  $\Delta x$ . Но практически невозможно с достаточной точностью определить изменение потребительских свойств изделия  $\Delta y$ . С помощью той же математической модели по известному приросту производственного качества  $\Delta x$  вычисляется соответствующее изменение потребительского качества  $\Delta y$ . При оценке конкурирующих вариантов выбирается тот вариант, который дает максимальный прирост потребительского качества продукции на единицу затрат. На основе такого анализа представляется возможным составлять научно обоснованную программу повышения качества, учитывающую и в максимальной степени эффективно реализующую как имеющиеся в настоящее время резервы производства, так и планируемое развитие производства на предстоящий период. При этом на каждом этапе определяются и реализуются мероприя-

**Ф о р м а 24.1. Информация  
о производственном и потребительском  
качестве изделий**

Номер изделия в партии $u$	Показатели производственного качества				Показатель потребительского качества $y$
	$x_1$	$x_2$	...	$x_k$	
1	$x_{11}$	$x_{21}$	...	$x_{k1}$	$y_1$
2	$x_{12}$	$x_{22}$	...	$x_{k2}$	$y_2$
3	$x_{13}$	$x_{23}$	...	$x_{k3}$	$y_3$
...	...	...	...	...	...
$N$	$x_{1N}$	$x_{2N}$	...	$x_{kN}$	$y_N$

тия, наиболее эффективные для данного конкретного предприятия.

Необходимым условием для решения рассмотренных задач является наличие упомянутой прогнозной математической модели, с необходимой точностью описывающей зависимость потребительского качества от производственного. Построение такой прогнозной модели является задачей исследования качества. Методика исследования качества отремонтированных изделий представляет собой такую последовательность действий:

выбирается показатель (или показатели) потребительского качества изделия  $y$ ;

определяется номенклатура показателей производственного качества  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , по предположению в наибольшей степени влияющих на показатель потребительского качества;

выдвигается гипотеза о виде прогнозной математической модели  $y = f(x)$ ;

определяется объем опытной партии изделий  $N$ ;

Т а б л и ц а 24.1. Минимальный объем опытной партии  $N_{\min}$ , шт.

Предполагаемое значение $R$	Число коэффициентов математической модели				
	5	10	15	20	25
0,7	14	25	36	47	57
0,8	10	19	27	35	43
0,9	8	14	21	27	34

случайным образом из общего объема выпускаемой продукции выбирается опытная партия изделий;

у каждого изделия контролируются действительные значения всех показателей производственного качества  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , которые сформировались в ходе технологического процесса изготовления или ремонта изделия;

вся партия изделий отправляется в эксплуатацию;

в эксплуатации ведется наблюдение за работой каждого изделия и определяются их показатели потребительского качества. Таким образом, опытным путем получается информация о производственном и потребительском качестве каждого изделия, которая заносится в таблицу по форме 24.1;

проводится обработка экспериментальной информации, строится математическая модель, выполняется ее анализ.

Объем опытной партии изделий  $N$  зависит от коэффициента множественной корреляции  $R$  (характеризующего тесноту корреляционной линейной связи между показателем потребительского качества  $y$  и показателями производственного качества  $x_1, x_2, \dots, x_k$ ) и числа коэффициентов математической модели  $y = f(x)$ . Для определения  $N$  используются данные табл. 24.1.

Обычно предполагается, что коэффициент множественной корреляции не должен быть ниже 0,7, так как в противном случае точность прогнозной модели будет слишком низкой и ее нельзя будет использовать для решения задач управления качеством. Число неизвестных коэффициентов в математической модели  $y = f(x)$ , которое необходимо определить на основе опытной информации, зависит от числа исследуемых показателей производственного качества и вида математической модели. Обычно математическая модель имеет вид полинома первого или второго порядка, другие виды моделей применяются реже.

Эксперимент по исследованию взаимосвязи производственного и потребительского качества является, как правило, пассивным, так как обычно на этапе исследования нет возможности вмешиваться в ход производственного процесса и активно управлять показателями производственного качества. Для обработки полученной информации используется аппарат корреляционного и регрессионного анализа. В соответствии с этим к показателям производственного качества предъявляется ряд требований:

показатель должен быть универсальным, т. е. по возможности наиболее полно характеризовать потребительские свойства изделия;

показатель должен быть случайной величиной, распределенной по нормальному закону (при условии проведения пассивного эксперимента);

между показателями производственного качества не должно быть линейной корреляционной связи;

совокупность показателей должна быть необходима и достаточна для прогнозирования потребительского качества с заданной точностью.

Обработка результатов эксперимента по исследованию связи между производственным и потребительским качеством выполняется в такой последовательности (исходная информация представлена в форме 24.1):

1. Вычисляются основные статистические характеристики распределений показателей  $x_1, x_2, \dots, x_k$  и  $y$ . Среднее значение показателя

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N y_u,$$

где  $N$  — число изделий в опытной партии;  $y_u$  — опытное значение показателя  $u$ -го изделия.

Выборочная дисперсия показателя:

$$S^2(y) = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N (y_u - \bar{y})^2.$$

Аналогично вычисляются характеристики распределений показателей производственного качества  $x_i$  и  $S^2(x_i)$  для  $i=1, 2, \dots, k$ .

2. Строится математическая модель. Рассмотрим случай построения линейной модели

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k. \quad (24.1)$$

Значения коэффициентов  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$  определяются с использованием метода наименьших квадратов по формуле, записанной в матричном виде

$$B = (X^* X)^{-1} X^* Y,$$

где  $B$  — столбец точечных оценок коэффициентов математической модели;  $X$  — матрица показателей производственного качества;  $X^*$  — транспонированная матрица  $X$ ;  $Y$  — столбец показателей потребительского качества:

$$B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ 1 & x_{13} & x_{23} & \dots & x_{k3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1N} & x_{2N} & \dots & x_{kN} \end{bmatrix}; Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}.$$

Значения  $x_{iu}$  и  $y_u$ , полученные в ходе эксперимента, представлены в форме 24.1;  $i=1..k$ ;  $u=1..N$ .

3. Выполняется анализ математической модели. Для каждого  $m$ -го изделия, производственное качество которого записано в форме 24.1, в соответствии с полученной математической моделью (24.1) вычисляются расчетные значения показателей потребительского качества  $\hat{y}_u$  путем подстановки значений  $x_{1u}, x_{2u}, \dots, x_{ku}$  в эту модель. Точность математической модели характеризуется остаточной дисперсией

$$S_{\text{ост}}^2(y) = \frac{1}{N-k-1} \sum_{u=1}^N (y_u - \hat{y}_u)^2,$$

где  $N$  — объем опытной партии изделий;  $k$  — число исследуемых показателей производственного качества;  $y_u$  — опытное значение показателя потребительского качества для  $u$ -го изделия;  $\hat{y}_u$  — расчетное значение показателя потребительского качества для  $m$ -го изделия.

Точность опытных значений коэффициентов  $b$  характеризуется их дисперсией, т. е.

$$S^2(b_i) = \frac{S_{\text{ост}}^2(y)}{NS^2(x_i)}; \quad i = 1 \dots k;$$

$$S^2(b_0) = S_{\text{ост}}^2(y)/N.$$

Оценка статистической значимости опытных значений всех коэффициентов  $b$  математической модели осуществляется с помощью  $t$ -критерия Стьюдента

$$t(b_i) = \frac{|b_i|}{S(b_i)}.$$

Если  $t(b_i) > t_{\text{кр}}$ , то  $b_i$  считается статистически значимой, следовательно, показатель производственного качества  $x_i$  существенно влияет на потребительское качество. Если  $t(b_i) < t_{\text{кр}}$ , то делается вывод о статистической незначимости коэффициента  $b_i$ , т. е. показатель  $x_i$  не оказывает заметного влияния на потребительское качество. В этом случае независимый коэффициент приравнивается к нулю, этот член удаляется из математической модели (24.1), а значения остальных коэффициентов модели пересчитываются.

Проверка адекватности математической модели осуществляется с помощью  $F$ -критерия Фишера

$$F = \frac{S^2(y)}{S_{\text{ост}}^2(y)},$$

где  $S^2(y)$  — выборочная дисперсия  $y$ ;  $S_{\text{ост}}^2(y)$  — остаточная дисперсия  $y$ .

Расчетное значение  $F$ -критерия сравнивается с табличным  $F_{\text{кр}}$ . Если  $F > F_{\text{кр}}$ , то математическая модель считается адекватной. Аналогично проводятся вычисления в случае нелинейной модели.

Таким образом, полученная математическая модель описывает зависимость показателя потребительского качества изделия от показателей производственного качества, позволяет на этапе ремонта прогнозировать

#### Форма 24.2. Характеристики распределения показателей производственного и потребительского качества

Показатель	Значения показателей		
	Минимальное	Максимальное	Среднее
$x_1$ , мм	0,00	0,19	0,0914
$x_2$ , мм	0,00	0,06	0,0336
$x_3$ , мм	0,00	0,08	0,0379
$y$ , тыс. км	62,10	118,00	90,855

вать потребительское качество и является важной составной частью информационной основы для эффективного управления качеством.

Пример. Исследуем качество сопряжения «коленчатый вал — коренные подшипники» автомобильного двигателя. Показатель потребительского качества  $y$  — наработка сопряжения до отказа, тыс. км. Показатели производственного качества:

$x_1$  — биение коренных шеек коленчатого вала, мм;

$x_2$  — несоосность гнезд вкладышей коренных подшипников, мм;

$x_3$  — отклонение размеров этих гнезд от номинального значения, мм.

Предполагаемый вид математической модели:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3.$$

Минимальный объем опытной партии изделий  $N_{\text{мин}} = 14$ . Фактический объем партии  $N = 29$ .

Результаты обработки информации о производственном и потребительском качестве, полученной в ходе экспериментального исследования, приведены в форме 24.2.

Расчет оценок коэффициентов математической модели  $b$ , их среднеквадратических отклонений  $S(b)$  и значений критерия  $t(b)$  дал следующие результаты:

$$\begin{aligned} b_0 &= 123,89; & S(b_0) &= 1,471; & t(b_0) &= 84,222; \\ b_1 &= -159,75; & S(b_1) &= 32,339; & t(b_1) &= 4,940; \\ b_2 &= -161,97; & S(b_2) &= 86,64; & t(b_2) &= 1,869; \\ b_3 &= -342,59; & S(b_3) &= 70,86; & t(b_3) &= 4,835. \end{aligned}$$

Критическое значение  $t_{\text{кр}} = 2,05$ . Сравнение расчетных значений  $t(b)$  с критическим показывает, что параметры  $b_0$ ,  $b_1$  и  $b_3$  статистически значимы, а  $b_2$  — незначим. Таким образом можно сделать вывод, что показатели производственного качества — биение коренных шеек коленчатого вала и отклонение размеров гнезд вкладышей коренных подшипников — достаточно сильно влияют на наработку рассматриваемого сопряжения, а несоосность гнезд вкладышей коренных подшипников в диапазоне изменения от 0 до 0,06 мм не оказывает существенного влияния на наработку.



Теперь коэффициент  $b_2$  как статистически незначимый приравнивается нулю и все остальные коэффициенты пересчитываются.

Окончательно после пересчета получаем:

$$b_0 = 118,216; \quad S(b_0) = 1,54; \quad t(b_0) = 76,764;$$

$$b_1 = -154,30; \quad S(b_1) = 33,72; \quad t(b_1) = 4,576;$$

$$b_3 = -349,62; \quad S(b_3) = 74,08; \quad t(b_3) = 4,719.$$

Все вычисленные значения  $b_0$ ,  $b_1$  и  $b_3$  статистически значимы. Полученная математическая модель имеет вид

$$y = 118,216 - 154,30x_1 - 349,62x_3.$$

Расчетное значение критерия Фишера  $F = 2,62$ . Критическое значение  $F_{кр} = 1,9$ . Так как  $F > F_{кр}$ , то полученная модель может считаться адекватной и позволяет на этапе ремонта по известным показателям производственного качества  $x_1$  и  $x_3$  с достаточной точностью прогнозировать среднюю наработку рассматриваемого сопряжения до отказа, а на основе прогноза решать задачи управления качеством.

#### 24.4. ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЕЙ И ИХ АГРЕГАТОВ ПРИ РЕМОНТЕ

Изложенная в предыдущем разделе методика может применяться для исследования качества сравнительно «простых» изделий. Под этим понимается изделие, производственное качество которого оценивается небольшим числом показателей, а математическая модель, описывающая зависимость потребительского качества от производственного, имеет простой вид — обычно полином 1-й, реже 2-й степени.

При исследовании качества сложных автомобильных агрегатов или автомобилей в целом приходится учитывать влияние большого числа показателей производственного качества и для описания их влияния на потребительское качество использовать более сложные математические модели. Такие модели содержат большое число коэффициентов, и для определения их значений необходим большой объем экспериментальной информации, т. е. требуется большая опытная партия изделий. Это делает проведение исследования чрезвычайно трудоемким и дорогим.

Методика исследования качества автомобилей и их агрегатов основа-

на на методике исследования качества простых изделий, но при этом в десятки раз сокращает объем натурных испытаний, переносит часть эксперимента на ЭВМ.

Рассмотрим методику на примере исследования качества двигателя. Показателем потребительского качества примем наработку  $L$  до первого отказа, вызванного процессами износа, старения. Этот показатель достаточно объективно характеризует качество ремонта.

Агрегат рассматривается как система, состоящая из ряда функциональных подсистем. Например, для двигателя такими подсистемами могут быть: системы питания и охлаждения, газораспределительный механизм, смазочная система, цилиндропоршневая группа, коленчатый вал и подшипники и т. п. Производственное качество каждой подсистемы оценивается совокупностью своих показателей. Таким образом, общее множество показателей производственного качества агрегата распадается на подмножества, каждое из которых характеризует производственное качество своей подсистемы. Каждая из подсистем рассматривается как простое изделие. Исследование подсистем проводится по методике, рассмотренной в предыдущем разделе. Исследование всех подсистем ведется параллельно на одних и тех же агрегатах. Объем партии должен быть необходим и достаточен для построения математической модели не всего двигателя, а наиболее сложной его подсистемы. Этого же объема информации будет достаточно и для построения математических моделей других, более простых подсистем. В результате этого первого этапа исследования, который проводится на авторемонтном заводе и автотранспортном предприятии, получаем математические модели подсистем:

$$\bar{L}_1 = f(X_1); \quad (24.2)$$

$$\bar{L}_2 = f(X_2); \quad (24.3)$$

$$\bar{L}_n = f(X_n), \quad (24.4)$$

где  $\bar{L}_1, \bar{L}_2, \dots, \bar{L}_n$  — средние значения наработок соответственно 1-й, 2-й, ...,  $n$ -й подсистем до отказа;  $X_1, X_2, \dots, X_n$  — совокупности показателей производственного качества показателей соответственно 1-й, 2-й, ...,  $n$ -й подсистем.

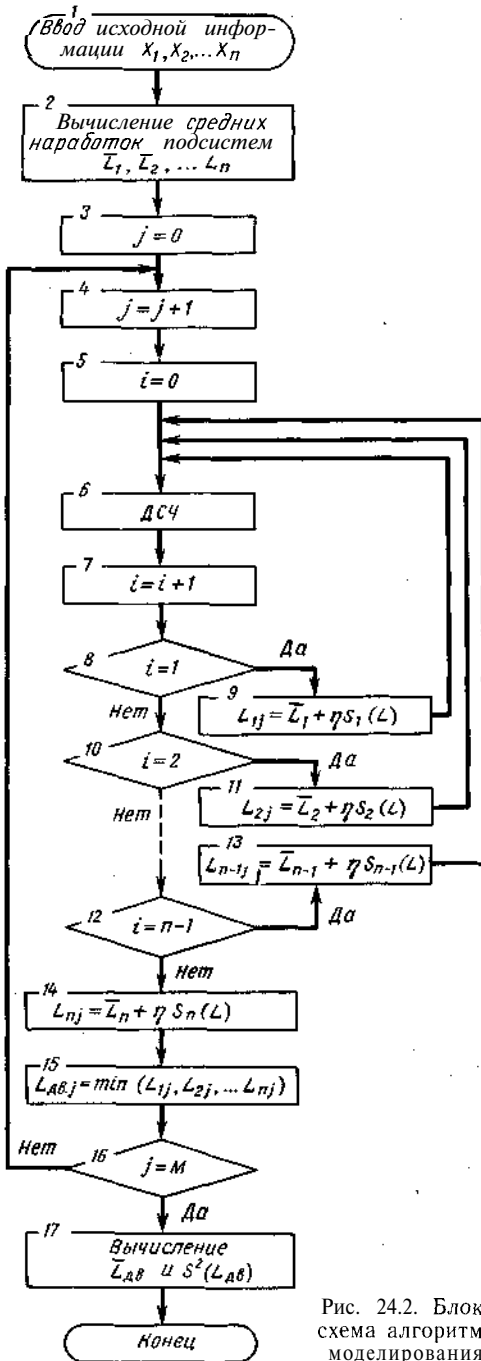


Рис. 24.2. Блок-схема алгоритма моделирования

Эти модели дают возможность на этапе ремонта по известным значениям показателей производственного качества, которые формируются в ходе производственного процесса ремонта, прогнозировать среднюю наработку подсистем двигателя до отказа. Однако они не дают возможность прогнозировать среднюю наработку двигателя. Для получения прогнозной оценки наработки двигателя до отказа одной из подсистем на втором этапе исследования выполняется моделирование на ЭВМ процесса наступления отказа с использованием метода статических испытаний (рис. 24.2).

Исходной информацией являются значения показателей производственного качества подсистем агрегата (блок 1). По полученным на первом этапе исследования математическим моделям подсистем (24.2) ... (24.4) вычисляются средние значения наработок подсистем (блок 2). Параметр  $j$  — номер моделируемого двигателя,  $j = 1 \dots M$ ;  $i$  — номер моделируемой подсистемы,  $i = 1 \dots n$ . Блок 6 представляет собой датчик случайных чисел  $\eta$  (ДСЧ), распределенных по нормальному закону с параметрами: математическое ожидание  $M(\eta) = 0$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma(\eta) = 1$ . Нарботка 1-й, 2-й, ...,  $n$ -й подсистем  $j$ -го двигателя моделируется в блоках 9, 11, 13 и 14. Нарботка  $j$ -го двигателя до отказа одной из подсистем определяется в блоке 15, и она равна минимальной из наработок подсистем этого двигателя. Так моделируются  $M$  двигателей. По результатам моделирования получаем данные о наработках до отказа  $M$  двигателей и вычисляем среднюю наработку двигателей  $\bar{L}_{дв}$  и ее выборочную дисперсию  $S^2(L_{дв})$  (блок 17):

$$\bar{L}_{дв} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M L_{дв,j}$$

$$S^2(L_{дв}) = \frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^M (L_{дв,j} - \bar{L}_{дв})^2$$

Алгоритм, блок-схема которого приведена на рис. 24.2, представляет собой прогнозную модель, дающую возможность по известным значениям показателей производственного качества получить прогнозную оценку средней наработки двигателей  $L_{дв}$ .

Однако такое прогнозирование на авторемонтном предприятии затруднено тем, что требует наличия ЭВМ и соответствующего программного обеспечения. Для облегчения процедуры прогнозирования целесообразно иметь прогнозную модель в виде математического выражения. Для построения такой прогнозной математической модели, позволяющей прогнозировать среднюю наработку отремонтированных агрегатов и автомобилей, ставится эксперимент на ЭВМ. В каждом опыте задаются значения показателей производственного качества  $x$  и в результате моделирования получают соответствующие

значения средней наработки агрегата  $L_{дв}$ . Показатели производственного качества в этом случае являются управляемыми факторами, и эксперимент проводится как активный с использованием теории планирования эксперимента. В результате такого эксперимента на ЭВМ получается опытная информация, на основе которой строится прогнозная математическая модель агрегата или автомобиля.

Таким образом, методика экспериментального исследования качества автомобилей и их агрегатов проводится в два этапа. На 1-м этапе исследуется качество отдельных подсистем, а на 2-м моделируется система на ЭВМ. В результате за счет значительного сокращения объема опытной партии изделий при исследовании качества подсистем сокращается трудоемкость, стоимость и общая продолжительность всего исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев М. В., Воловик Е. Л., Ульман И. Е. Технология ремонта машин и оборудования. М.: Агропромиздат, 1986. 247 с.
2. Афанасиков Ю. И. Проектирование моечно-очистного оборудования авторемонтных предприятий. М.: Транспорт, 1987. 156 с.
3. Горохов В. А. Проектирование и расчет приспособлений. Минск: Вышэйшая школа, 1986. 238 с.
4. Гурвич И. Б., Сыркин П. Э. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей. М.: Транспорт, 1984. 141 с.
5. Гурич Ф. В. Технология автотракторостроения. М.: Машиностроение, 1981. 343 с.
6. Гурич Ф. В., Гурич М. Ф. Технология автомобилестроения. М.: Машиностроение, 1986. 293 с.
7. Дехтеринский Л. В., Апсин В. П. Технология ремонта автомобилей. М.: Транспорт, 1979. 342 с.
8. Дюмин И. Е. Повышение эффективности ремонта автомобилей и двигателей. М.: Транспорт, 1987. 175 с.
9. Козлов Ю. С. Очистка автомобилей при ремонте. М.: Транспорт, 1981. 15 с.
10. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений. М.: Машиностроение, 1983. 277 с.
11. Мацино М. А. Организация восстановления деталей. М.: Транспорт, 1981. 176 с.
12. Маслов Н. Н. Эффективность, качество ремонта автомобилей. М.: Транспорт, 1981. 304 с.
13. Мелков М. П., Швецов А. Н., Мелков И. М. Восстановление автомобильных деталей твердым железом.— 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1982. 198 с.
14. Методика расчетной оценки износостойкости поверхностей трения деталей машин/ВНИИНМАШ. М.: Изд-во стандартов, 1979. 100 с.
15. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.
16. Пronicов А. С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
17. Справочник технолога-машиностроителя/Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1986. 2 т.
18. Станочные приспособления: Справочник/Под ред. Б. Н. Вардашкина. М.: Машиностроение, 1984. 2 т.
19. Технологическая подготовка гибких производственных систем/С. П. Митрофанов, Д. Д. Куликов, О. Н. Миляев, Б. С. Падун; Под ред. С. П. Митрофанова. Л.: Машиностроение, 1987. 352 с.
20. Тельнов Н. Ф. Технология очистки и мойки сельскохозяйственных машин М. Колос, 1973. 128 с.
21. Черноиванов В. И., Андреев В. П. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. М.: Колос, 1983. 288 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автоматизация гибкая 92  
Автоматическая линия  
— замкнутая 89  
— незамкнутая 89  
— с гибкой связью 89  
— с жесткой связью 89  
— многономенклатурная 89  
— однономенклатурная 89  
— однопоточная 89  
— многопоточная 89  
Авторемонтные предприятия, типы 146  
Агрегат 12  
Акт приемки автомобиля из ремонта 151  
— сдачи автомобиля в ремонт 151  
Аналитический метод определения интенсивности изнашивания 99
- База вспомогательная 30  
— измерительная 30, 65  
— основная 30  
— технологическая 30  
Балансировка динамическая 259  
— статическая 259  
Безотказность изделия 112
- Ванны для железнения 203  
— для хромирования 202  
Взаимозаменяемость межгрупповая, метод 247  
Виды производства 13  
— сборки изделий 249  
— соединений 249  
Винтовертные машины, классификация 155  
Водно-щелочные растворы 164  
Волнистость поверхности 41  
Восстановление деталей  
— вытяжкой 180  
— накаткой 180  
— обжатием 180  
— осадкой 179  
— раздачей 179  
Восстановление формы деталей правкой:  
статическим напряжением 180  
наклепом 180  
Восстанавливаемость деталей и сборочных единиц 109  
Восстановление механических свойств материалов:  
алмазным выглаживанием 182  
дробеструйной обработкой 182  
обкаткой роликами и шариками 182  
чеканкой 182  
Втулка кондукторная 46
- Газовая сварка и наплавка 185  
Гидрокомпрессорный метод разборки соединений 157  
Гайковерты вибрационные 156  
— многошпиндельные 156  
— одношпиндельные 156  
— ударно-импульсные 156  
Гибка 81
- Декапирование 200  
Деталь 12  
Дефекты конструкционные 171  
— производственные 171  
— хранения и транспортировки 171  
— эксплуатационные 171  
— классификация по методам обнаружения 172  
Деформация упругая 101  
— остаточная 101  
Дисбаланс вращающихся частей 258  
Диспергирование 163  
Долговечность изделия 112  
Домкраты 153  
Допуск операционный 65  
Допустимая погрешность механизма при ремонте 123
- Железнение 203**
- Задел 55  
Загрязнения автомобилей, классификация 160  
Зажимные механизмы  
— винтовые 47  
— с гидравлическим приводом 49  
— с пневматическим приводом 48  
— рычажные и рычажно-шарнирные 48  
— центрирующие установочные 48  
— эксцентровые 48
- Изделие комплектующее 11  
— составная часть 11  
Изнашивание 95  
— виды 101  
Износ предельный 106  
Ингибиторы коррозии 164  
Индукционно-тепловой метод разборки соединений 158  
Инструмент 88  
Информация базовая 53  
— руководящая 53  
— справочная 53  
Имитационная модель старения и восстановления системы 134  
Испытания, классификация 272
- Кавитация 104  
Капитальный ремонт автомобилей, моделирование 140, 146  
Карта дефектов альтернативная 232  
Качество автомобиля 108  
Комплекс 12  
Комплексный показатель технологичности 19  
Комплект 12  
Комплектование изделий 248  
Контроль качества сборки 253  
Контрольная карта числа дефектных единиц продукции 35  
Контрольные и транспортные устройства 88  
Коррозия атмосферная 103  
— виды 103  
— типы 103  
— электрохимическая 103

- Коэффициенты структурного состава ремонтного фонда:  
 годности 178  
 ремонта 172  
 сменности 178
- Краны 154
- Красители 206
- Критерии предельного состояния автомобиля 106
- Кроющая способность электролита 198
- Литье 21
- Манипуляторы 88
- Маршрутная форма технологии ремонта 228
- Метод выбора станков  
 — индикаторный 61  
 — симплекс 61
- Методы расчета показателей технологичности конструкции:  
 корреляционных зависимостей 18  
 многофакторный 18  
 прямых аналогий 18
- Механизация и автоматизация технологических процессов:  
 единичная 87  
 комплексная 87  
 полная 87  
 частичная 88
- Надежность автомобиля 111
- Наклеп металла 41
- Наплавка вибродуговая 184
- Наполнители 206
- Напуск на обработку 22
- Напыление высокочастотное 191  
 — детонационное 191  
 — дуговое 190  
 — газоплазменное 190  
 — ионно-плазменное 193  
 — плазменное 193
- Напыляемые материалы и свойства покрытий 194
- Настройка режущего инструмента 32
- Неуравновешенность динамическая 258  
 — моментная 258  
 — статическая 258
- Никелирование 204
- Норма времени на обработку 58
- Нормирование работ  
 — на станках с ЧПУ 59  
 — при многостаночном обслуживании 59
- Обезжиривание деталей 199
- Оборудование для автоматической и полуавтоматической сварки 188
- Обработка деталей под ремонтный размер 209
- Объем выпуска деталей 54
- Окраска безвоздушным методом 84  
 — воздушным распылением 84  
 — распылением в электростатическом поле 85  
 — электроосаждением 86
- Оксидирование 204
- Отвердители 206
- Отказы внезапные 111  
 — постепенные 111
- Оценка качества ремонта, методы:  
 дифференциальный 282  
 интегральный 282  
 комплексный 282  
 экономико-статистический 283
- Очистка автомобилей, классификация методов 161
- Очистка деталей, методы:  
 в галтовочных барабанах 167.  
 гидродинамический 166  
 косточковой крошкой 166  
 в виброабразивных установках 166  
 физико-химические 167
- Пайка 189
- Пенообразование 163
- Переход вспомогательный 13
- Плазмотрон 192
- Плазменное напыление с оплавкой покрытия 196
- Пластификаторы 206
- Пластичность металлов 178
- Поверхностно-активные вещества 162
- Подготовка деталей к нанесению гальванопокрытий 199
- Погрешность базирования 29  
 — закрепления детали 29  
 — подналадки 29  
 — приспособления 29
- Погрешность изготовления изделий  
 — систематическая 26  
 — случайная 25
- Подефектная технология ремонта 228
- Подъемники 154
- Позиция 13
- Показатели дефектации 172  
 — технологичности конструкции 17
- Постановка дополнительной ремонтной детали 210
- Порошковые сплавы 194
- Предельное состояние автомобиля 106
- Принудительная технология ремонта 228
- Припуск на обработку 22  
 — методы определения 22
- Приспособления 44, 88  
 — классификация 44
- Производственная партия 54
- Производственный процесс 12
- Прокат 21
- Протокол испытаний 272
- Производство  
 — виды 13  
 — единичное 14  
 — массовое 14  
 — серийное 14  
 — типы 12
- Работоспособное состояние объекта 111
- Рабочий ход 13, 56  
 — переход 56
- Разборочные работы 152  
 — на поточных линиях 152
- Размерная цепь  
 — методы расчета 68  
 — операционная 66  
 — ремонтная 66  
 — технологическая 66

Размерные группы 243  
Разрушение вязкое 102  
— усталостное 103  
— хрупкое 102  
Растворители 164  
Растворяюще-эмульгирующие средства 165  
Реактопласты 206  
Режим резания 57  
Ремонт капитальный 146  
— средний 146  
— текущий 146  
Ремонтная технологичность автомобиля  
——общие требования 115  
——показатели 116  
Ремонтопригодность автомобиля 112, 114  
Роботизированный технологический комплекс 93  
Ручная машина 154

Сборочная единица 12  
Сварка алюминиевых деталей 186  
— аргоно-дуговая 186  
— дуговая ручная 18,2  
— дуговая автоматическая под флюсом 183  
— лазерная 188  
— электронно-лучевая 188  
Сварка и наплавка  
——в углекислом газе 184  
——чугунных деталей 185  
——контактная 187  
Свойства автомобилей 108  
Синтетические моющие средства 164  
Система управления качеством ремонта, принципы 281  
Склеивание деталей 207  
Скрытые дефекты, методы обнаружения 174  
Смачиваемость поверхности твердого тела 162  
Сохраняемость изделия 112  
Спекание 22  
Средства ремонта  
——производственная структура 144, 146  
——организационная структура 144  
Средства технологического оснащения 153  
Стабилизаторы 206  
Станки с ЧПУ 63  
Старение автомобиля 94  
Стойкость инструмента 57  
Стратегия ремонта 130, 144  
——по наработке 145  
——по техническому состоянию 145  
Сушка лакокрасочных покрытий  
——конвекционная 226  
——терморadiационная 226  
Схема сборки, разборки изделия 270

Теория восстановления 129  
Термопласты 206  
Технологическая операция 12  
Технологический классификатор 56  
— маршрут 228, 237  
— переход 13

Технологический процесс 12  
——единичный 52  
——групповой 52  
——капитального ремонта 146  
Технология нанесения покрытий газотермическим напылением 195  
Технологические показатели качества 119  
Технология ремонта 145  
——синтетических материалов 207  
Точность обработки 26  
Точечная сварка 187

Удаление накипи  
——погружением 169  
——прокачкой 169  
Узел 12  
Ультразвуковой метод обнаружения скрытых дефектов 176  
Управление качеством ремонта 281  
Унифицированный технологический процесс  
——групповой 64  
——типовой 63  
Условная деталь 230  
Установ 13

Флотационная очистка производственных стоков 170  
Формовка 8  
Фосфатирование 204

Ход вспомогательный 13  
Холодная сварка чугунных деталей 186  
Хромирование  
— деталей из алюминиевых сплавов 203  
— пористое 201

Цель системы ремонта 145  
Централизованный ремонт  
——по техническому состоянию 149  
——схема технологического процесса 150  
Цинкование 204

Штамповка горячая 21  
— холодная 21  
Штучно-калькуляционное время на операцию 58

Щелочность моющих растворов  
——общая 164  
——активная 164

Электролиз 197  
Электролиты саморегулирующиеся 202  
— сернокислые 200  
— тетрoхроматные 202  
Элементарный закон изнашивания 98  
Эмульгирование 162  
Эмульгатор 163  
Эмульсия 162  
Эпоксидная смола 206  
Эрозия 104

*Учебник*

*ДЕХТЕРИНСКИЙ ЛЕВ ВЛАДИМИРОВИЧ,  
АКМАЕВ КЯЗЫМ ХАСЯНОВИЧ,  
АПСИН ВИТАЛИИ ПЕТРОВИЧ и другие*

## **РЕМОНТ АВТОМОБИЛЕЙ**

Предметный указатель составил  
*В. И. Лапшин*

Технический редактор *Л. Г. Дягилева*  
Корректор-вычитчик *И. М. Лукина*  
Корректор *Л. А. Шарпова*

**ИБ № 4576**

---

Сдано в набор 20.01.92. Подписано в печать 28.10.92.  
Формат 70 × 100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Офсетная печать. Усл. печ. л. 24.05. Усл. кр.-отт. 24.05.  
Уч.-изд. л. 25,3. Тираж 15.000 экз. Заказ 1607. С 279.  
Изд. № 1-1-1/14—6 № 4863.

Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ»,  
103064, Москва, Басманный туп., 6а

---

Московская типография № 4 Министерства печати  
и информации Р. Ф.  
129041, Москва, Б. Переяславская ул., 46.