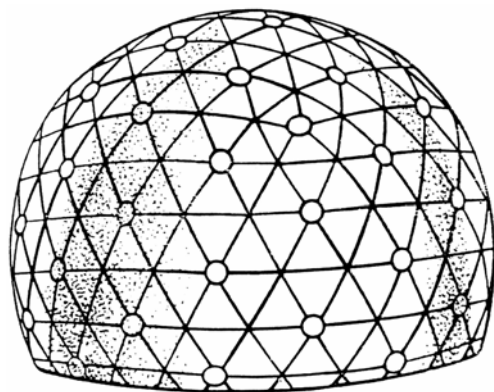


**С.И. КОРЯГИН
И.В. ПИМЕНОВ, В.К. ХУДЯКОВ**

СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ



**Калининград
2000**

**С.И. КОРЯГИН
И.В. ПИМЕНОВ, В.К. ХУДЯКОВ**

СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Рекомендовано Министерством образования
Российской Федерации в качестве учебного
пособия для студентов высших учебных
заведений технических специальностей

Калининград
2000

УДК 678.5.046.364

Корягин С.И., Пименов И.В., Худяков В.К. Способы обработки материалов: Учебное пособие / Калинингр. ун-т – Калининград, 2000. – 448 с. – ISBN 5-88874-152-3.

Изложены способы обработки конструкционных материалов, приводятся основные сведения из области применения материалов в различных отраслях техники, а также об изготовлении изделий из них.

Предназначено студентам механических факультетов вузов, а также инженерам и работникам научно-исследовательских институтов.

Авторы: зав. кафедрой машиноведения Калининградского государственного университета, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, член Московской академии естествознания С.И. Корягин; кандидат технических наук, доцент кафедры машиноведения Калининградского государственного университета В.К. Худяков; заместитель главы администрации Калининградской области, член Российской академии естественных наук И.В. Пименов.

Рецензенты: доктор технических наук, профессор Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, член Московской академии естествознания Р.К. Вафин; доктор технических наук, профессор Московского университета пищевых производств Ф.В. Долинский.

**Сергей Иванович Корягин
Иван Владимирович Пименов
Владимир Константинович Худяков**

СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Лицензия №020345 от 14.01.1997 г.

Редакторы Л.Г. Ванцева, Н.Н. Мартынюк

Технический редактор Л.Г. Владимирова

Корректор Н.Н. Николаева

Оригинал-макет подготовлен И.А. Хрустальевым, А.В. Раковым

Подписано в печать 2.02.2000 г. Формат 60 x 90 1/16.

Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 28,0. Уч.-изд. л. 28,2. Тираж 500 экз. Заказ .

Калининградский государственный университет,
236041, г. Калининград, ул. А.Невского, 14

Отпечатано в ГИПП «Янтарный сказ», 236000,
г. Калининград, ул. К.Маркса, 18.

ISBN 5-88874-152-3

© С.И. Корягин, И.В. Пименов,
В.К. Худяков, 2000

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
Раздел I. Основные сведения о материалах	9
Глава 1. Металлы и их свойства	9
1.1. Стали и чугун.....	9
1.2. Алюминий и его сплавы	31
1.3. Медь и ее сплавы.....	38
1.4. Олово, свинец и их сплавы.....	44
1.5. Прочие металлы (магний, титан, цинк, кадмий)	46
Глава 2. Полимеры и материалы на их основе.....	52
2.1. Термопластичные полимеры.....	52
2.2. Термореактивные полимеры	60
2.3. Композиционные материалы с волокнистыми наполнителями	62
2.4. Композиционные материалы со слоистыми наполнителями	70
2.5. Композиционные материалы с газообразными наполнителями	74
2.6. Металлополимерные каркасные материалы.....	78
Глава 3. Резиновые материалы «герметики и компаунды».....	81
3.1. Натуральный и синтетический каучуки.....	81
3.2. Наполнители, пластификаторы и вулканизирующие агенты резин	85
3.3. Резины общего и специального назначения	87
3.4. Герметики.....	90
3.5. Компаунды	95
Глава 4. Неорганические материалы.....	99
4.1. Неорганические стекла и эмали для защиты	

металлов	99
4.2. Керамика.....	103
4.3. Углеграфитные материалы	109
4.4. Минеральные вяжущие вещества и изделия на их основе	114
Глава 5. Древесные материалы.....	122
5.1. Натуральные древесные материалы	122
5.2. Композиционные древесные материалы	127
Глава 6. Клеящие, лакокрасочные и травильные материалы	130
6.1. Клеящие материалы.....	130
6.2. Состав и обозначение лакокрасочных материалов	135
6.3. Маслосодержащие лакокрасочные материалы	139
6.4. Смоляные лаки и эмали.....	141
6.5. Травильные материалы	145
Раздел II. Обработка материалов	149
Глава 7. Обработка материалов резанием	149
7.1. Материалы для режущих инструментов	149
7.2. Элементы режима резания.....	154
7.3. Образование обработанной поверхности и стружки.....	158
7.4. Станки для обработки материалов резанием	161
Глава 8. Обработка металлов и их сплавов резанием	169
8.1. Обработка сталей и чугунов резанием	169
8.2. Обработка алюминия и его сплавов резанием.....	178
8.3. Обработка титана и его сплавов резанием	188
8.4. Обработка магния и его сплавов резанием	192
8.5. Обработка тугоплавких материалов резанием	194
Глава 9. Обработка неметаллических материалов резанием.....	197
9.1. Обработка материалов на основе полимеров.....	197

9.2. Обработка древесных материалов	210
9.3. Обработка неорганических материалов	216
Глава 10. Обработка материалов давлением и прессованием	220
10.1. Способы обработки материалов давлением и прессованием	220
10.2. Обработка металлов	231
10.3. Обработка полимерных материалов	242
10.4. Обработка резиновых материалов	249
10.5. Обработка неорганических материалов	253
10.6. Обработка древесных материалов	258
Глава 11. Механическая, термическая, химическая и гальваническая обработка материалов	263
11.1. Механическая обработка материалов	263
11.2. Обезжиривание материалов	268
11.3. Гальваническая обработка металлов	274
11.4. Термическая и химико-термическая обработка металлов	292
Глава 12. Физико-химические методы обработки	317
12.1. Электроэрозионные (электроразрядные) методы обработки	320
12.2. Электрохимические методы обработки (ЭХО)	327
12.3. Ультразвуковые методы механической обработки	330
12.4. Лучевые методы размерной обработки	334
Глава 13. Сварка материалов	340
13.1. Способы сварки материалов	340
13.2. Сварочное оборудование	343
13.3. Сварка металлов	351
13.4. Сварка полимерных материалов	356
Глава 14. Пайка материалов	359
14.1. Способы пайки материалов	359

14.2. Паяльные припой и флюсы	366
14.3. Оборудование для пайки	376
14.4. Особенности пайки различных материалов	385
Глава 15. Склеивание и окраска материалов	391
15.1. Подготовка материалов к склеиванию и окраске	391
15.2. Факторы, определяющие прочность склеивания и окраски	395
15.3. Нанесение клея и формирование клеевого слоя	398
15.4. Нанесение лакокрасочных покрытий	401
Раздел III. Основы безопасности при обработке материалов	408
Глава 16. Техника безопасности при обработке материалов	408
16.1. Техника безопасности при обработке материалов	408
16.2. Техника безопасности при химической и гальванической обработке материалов	414
16.3. Техника безопасности при сварке и пайке материалов	418
16.4. Техника безопасности при обработке материалов давлением и прессованием	423
16.5. Техника безопасности при склеивании и окраске	427
16.6. Охрана окружающей среды	436
Список рекомендуемой литературы	440

Вафину и Ф.В. Долинскому – за ценные замечания, советы и активное сотрудничество в процессе нашей работы над учебным пособием.

ВВЕДЕНИЕ

Обработка материала предусматривает придание ему необходимых размеров, формы, определенных свойств и включает в себя широкий класс следующих процессов: резание, шлифование, давление, прессование, термообработка, склеивание, пайка, сварка, оксидирование, сплавление, травление, электролиз, глубинное и поверхностное закаливание, обработка взрывом, водоструйная и пескоструйная обработка, обработка токами высокой частоты, растворение, окрашивание и др.

В период бурного развития техники и технологий будущему специалисту необходимо знать всю гамму этих процессов для грамотного выбора того или иного технологического процесса обработки различных материалов.

Традиционные и современные технологии обработки материалов описаны достаточно глубоко во многих книгах и учебниках. Однако значительная загруженность студентов не позволяет им охватить большое количество литературы, так как в каждой отдельно взятой книге, учебнике или учебном пособии описан один или несколько процессов обработки. Это затрудняет освоение студентами дисциплины «Способы обработки материалов».

Содержание учебного пособия соответствует программе курса «Основы материаловедения, технологии и обработки конструкционных материалов», утвержденной Министерством образования Российской Федерации.

Авторы отдают себе отчет в том, что их знания по способам обработки материалов не являются идеальными и что не всё в учебном пособии изложено в лучшей форме. Поэтому они были бы благодарны читателям за все ценные замечания, улучшающие и дополняющие содержание учебного пособия.

В заключение авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность рецензентам – докторам технических наук, профессорам Р.К.

Раздел I ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ

Глава 1. МЕТАЛЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

1.1. Стали и чугун

Сталь – сплав железа с углеродом и неизбежными примесями марганца (0,3...0,7%), кремния (0,2...0,4%), фосфора (0,01...0,05%), серы (0,01...0,05%) и скрытых примесей (кислорода, водорода и азота), присутствующих в сталях в очень малых количествах. Обычные сорта стали, применяемые в машиностроении, содержат от 0,05 до 1,5% углерода. Для изменения свойств стали в нее добавляются специальные примеси (легирующие элементы), в качестве которых выступают в различной пропорции: хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий, титан, алюминий, марганец, кремний, бор. Режимы закалки и отпуска очень сильно влияют на структуру стали в отвержденном состоянии, из-за чего свойства стали резко изменяются.

Стали подразделяются на: углеродистую (обычного качества, специального назначения, качественная), низколегированную, легированную, для холодной листовой штамповки и высадки, рессорно-пружинную, для прокатных валков, отливок.

К стали обыкновенного качества (табл. 1) относится строительный и конструкционный металл с содержанием углерода до 0,62%, при производстве которого обычно не предъявляется никаких требований к составу шихты, процессам плавки и разлива.

Таблица 1

Назначение углеродистой стали обыкновенного качества

Марка	Назначение
Ст. 0	Неответственные нерассчитываемые элементы конст-

	рукций: настилы, ограждения, лестничные марши, арматура и т. д.
Ст. 1	Связевые соединения, требующие высокой вязкости и низкой твердости, анкерные болты, жесткие связи, неответственная арматура и т. д.
Ст. 2	Элементы сварных конструкций неответственного назначения, оконные и фонарные переплеты, заклепки, анкерные болты. После цементации и нитроцементации для неответственных деталей, работающих на трение с незначительной нагрузкой
Ст. 3	В <i>горячекатаном состоянии</i> – для строительных и других расчетных металлических конструкций, подвергаемых сварке в виде сортового, фасонного и листового проката: балки, фермы, обечайки, днища, конструкции подъемных кранов, корпуса сосудов и аппаратов, работающих под давлением, каркасы паровых котлов <i>Цементируемые и цианируемые детали</i> , от которых требуются высокая твердость поверхности и невысокая прочность сердцевины: валики, поршневые пальцы, толкатели, шестерни, червяки и т. д. Детали, изготавливаемые холодной штамповкой при требовании глубокой вытяжки
Ст. 4	В <i>горячекатаном состоянии</i> – в сварных, клепаных и болтовых конструкциях повышенной прочности в виде сортового, фасонного и листового проката, а также для мало нагруженных деталей: валы, оси шестерни, втулки, вкладыши, рычаги, гайки, шайбы, серьги, хомуты, червяки другие детали как в термически необработанном, так и в улучшенном состояниях. Цементируемые и цианируемые детали, от которых требуются высокая твердость поверхности и невысокая прочность сердцевины: валики, поршневые пальцы, упоры, толкатели, шестерни, червяки и т. д.

Окончание табл. 1

Марка	Назначение
Ст. 5	Арматура, крюки кранов, детали машин, подвергаемые воздействию небольших напряжений: болты, гайки, валы, оси, звездочки, рычаги, тяги, арматура, серьги рессор, упоры подшипников и другие детали как в горячекатаном, так и в термически обработанном состояниях
Ст. 6	Детали повышенной прочности: оси, валы, клинья, тяги, фланцы, стяжные кольца, пальцы траков, зубья бараба-

	нов молотилок и другие детали сельскохозяйственного машиностроения в термически обработанном состоянии
Ст. 7	Средненагруженные детали, подвергаемые повышенному износу: рессоры, пружины, валы, шестерни, червяки, звездочки, пальцы траков и другие детали в термически обработанном состоянии

Применение стали специального назначения и качественной стали представлено в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Применение углеродистой стали специального назначения

Марка	Назначение
<i>Сталь для котлостроения и сосудов, работающих под давлением</i>	
15К, 20К, 22К, 2КГ	Обечайки, фланцы, днища, цельнокованные и сварные барабаны паровых котлов, корпуса и горловины сепараторов, полумуфты, корпуса аппаратов и другие детали
<i>Сталь для мостостроения</i>	
М16С	Сварные мостовые конструкции
Ст.3 мост.	Клепанные мостовые конструкции
<i>Автоматная сталь</i>	
А12 и А20	Винты, болты, кольца, втулки, оси, шпильки, гайки; мелкие детали швейных, текстильных, счетных, пишущих машин и приборов; другие неотчетственные мало-нагруженные детали сложной конфигурации

Окончание табл. 2

Марка	Назначение
А30 и А40Г	Оси, валики, втулки, кольца, шестерни, пальцы, винты, болты, гайки и другие детали, работающие при повышенных напряжениях и давлениях Сталь марки А40Г применяется для изготовления ходовых винтов металлорежущих станков

Таблица 3

Назначение углеродистой качественной стали

Марка	Назначение
08; 08кп, 10; 10кп	<i>Без термической обработки</i> – трубы, прокладки, шайбы, бачки, корпуса, диафрагмы, капоты тракторов, заклепки, кожуха, ушки, диски, коромысла, ленты тормозов, крышки, муфты, шпильки, пальцы и другие детали высокой пластичности общего машиностроения. <i>После цементации и цианирования</i> – втулки, ушки, коромысла клапана крана автомобиля, оси звеньев цепи, вкладыши и другие детали, от которых требуются высокая поверхностная твердость и низкая прочность сердцевины
15, 15кп, 20, 20кп, 25	<i>Без термической обработки после нормализации</i> – элементы трубных соединений, корпуса и клапаны холодильных аппаратов, патрубков, трубные пучки теплообменных аппаратов и другие детали котлотурбостроения <i>После цементации и цианирования</i> – детали, от которых требуются высокая поверхностная твердость и невысокая прочность сердцевины: детали автотракторного, сельскохозяйственного и общего машиностроения
30 и 35	<i>Без термической обработки</i> – оси, рычаги, тяги, фланцы, валики и другие малонагруженные детали <i>После закалки и низкого отпуска (HRC 30...40)</i> – валики, винты, штифты, упоры, кольца, шайбы, оси, траверсы и другие мелкие детали, к которым предъявляются требования повышенной прочности, а также

Продолжение табл. 3

Марка	Назначение
	сварные детали, подвергаемые термической обработке (гидроцилиндры и др.) <i>После нормализации или закалки и высокого отпуска</i> – тяги, оси, цилиндры, колонны прессов, коленчатые валы, шатуны, крепежные детали, шпиндели, звездочки, тяги, подушки, ободья, серьги, траверсы, валы, бандажки, цилиндры прессов и др. <i>После жидкостной цементации</i> – установочные и крепежные винты, гайки, звездочки, штифты, диски,

	шпиндели, втулки, соединительные муфты, оси, серьги, рычаги и другие детали станков, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости
40 и 45	<i>После закалки и отпуска (HRC 40...50)</i> – детали средних размеров несложной конфигурации, к которым предъявляются требования повышенной прочности и твердости, работающие без ударных нагрузок: ролики, валики, цапфы, втулки, муфты, фрикционные диски, собачки, шпонки, храповики, заглушки, звездочки, штуцера, рычаги и др. <i>После улучшения</i> – детали, работающие при небольших скоростях и средних удельных давлениях: шестерни, валы, работающие в подшипниках качения, шлицевые валики, втулки зубчатых муфт, оси, бандажки, шлицевые валики, коленчатые, распределительные и шестеренные валы, зубчатые венцы маховиков, штоки, шпиндели, траверсы, плунжеры, болты, пальцы и звенья траков тракторов, арматура насосов, шатуны, хвостовики, цилиндры, коромысла, диски сцепления, валы шахтно-подъемных машин, оправки и другие детали <i>После поверхностного упрочнения с нагревом т.в.ч.</i> – детали средних и крупных размеров, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости и повышенной износостойкости при малой деформации: шестерни, валы, работающие в подшипниках скольжения при средней окружной скорости и др.

Продолжение табл. 3

Марка	Назначение
50 и 55	<i>После нормализации с отпуском и закалки с отпуском</i> – шпиндели, валы, венцы, цапфы, бандажки, коленчатые валы, эксцентрики, шестерни, муфты, штоки, плунжеры, корпуса форсунок, шестеренные валы, молотки, диски, отвалы, рессоры, пружины, оси сателлитов, коленчатые и распределительные валы, валы заднего моста, муфты сцепления коробок передач, коромысла толкателей клапана, толкатели клапанов, шатуны, поршневые пальцы, венцы маховиков, пальцы тра-

60, 65, 70, 75, 80 и 85	Круглые и плоские пружины различных размеров, пружины клапанов двигателя автомобиля, пружины амортизаторов и пр., рессоры, замковые шайбы, диски сцепления, эксцентрики, шпиндели, регулировочные прокладки и другие детали, работающие в условиях трения и под действием статических и вибрационных нагрузок, а также прокатные валки (сталь марки 60), рессоры, пружины и бандажки трамвайных вагонов (сталь марки 70), крановые колеса (сталь марки 75), диски сцепления, выпускные клапаны компрессора и другие детали (сталь марки 85)
15Г, 20Г и 25Г	<i>Без термической обработки</i> – трубки, втулки, штуцера, вкладыши, шайбы, подмоторные рамы, башмаки, косынки, сварные трубы и другие детали. <i>После улучшения</i> – для заклепок ответственного назначения. <i>После цементации или цианирования</i> – фрикционные диски, поршневые пальцы, втулки, пальцы рессор, вилки, тяги, кулачковые валики, болты, гайки, винты, ключи, шайбы, шестерни, червяки и другие малоответственные детали, от которых требуются высокая поверхностная твердость и невысокая прочность сердцевины

Окончание табл. 3

Марка	Назначение
30Г, 35Г, 40Г, 45Г, 50Г	Распределительные валики, болты, шпильки, вилки переключения скоростей, валики водяных насосов, диски трения, шестерни, пальцы звеньев гусениц, валы муфт сцепления, венцы и ободы маховиков, шатуны, тормозные рычаги, оси катков и направляющих колес, полуоси, шлицевые, шестеренные и карданные валы, анкерные болты и другие детали автотракторного и общего машиностроения, а в холоднотянутом состоянии – болты и гайки высокой прочности
60Г, 65Г, 70Г	Плоские и круглые пружины, рессоры, пружинные кольца, шайбы Гровера, подающие и зажимные канги, упорные и стопорные кольца и другие детали пружин-

ного типа, от которых требуются высокие упругие свойства и износостойкость; бандажы, тормозные барабаны, скобы, тормозные ленты, детали трансмиссий и дробильных машин, втулки, лопасти вентилятора, погоны и другие детали общего и тяжелого машиностроения, зубья борон, лапы культиваторов, шайбы замковые, лапы полольные, лемехи, ножи, звенья цепи элеватора, щеки сошника, кронштейны и другие детали сельскохозяйственного машиностроения

Низколегированная сталь обладает по сравнению с углеродистой сталью повышенной прочностью, пониженной склонностью к старению, хорошей свариваемостью, повышенной износостойкостью и коррозионной стойкостью в различных газозооных средах, морской воде и др. Применение низколегированной стали представлено в табл. 4, легированной стали – в табл. 5.

Таблица 4

Применение низколегированной стали

Марка	Назначение
<i>Марганцовистая</i>	
14Г	Детали из круглого, квадратного и полосового проката, а также уголки, балки двутавровые, швеллерные и фасонные, предназначенные для машиностроения и строительства

Продолжение табл. 4

Марка	Назначение
19Г	Сварные магистральные нефтегазопроводы высокого давления диаметром до 820 мм при толщине стенки 6...9 и 9...15 мм. При испытании на растяжение в области температур до -70°С не снижает пластические свойства и, следовательно, не проявляет склонности к хрупкому разрушению. При -196°С пластичность стали значительно снижается
09Г2	Детали листовых и сварных конструкций вагонов, доменных печей, воздухонагревателей, аппаратов химического и нефтяного машиностроения, работающих под давлением и при температурах до +450°С. Сталь не склонна к тепловой хрупкости и

14Г2	Крупные листовые сварные конструкции больших доменных печей, пылеуловителей, воздухонагревателей и др. Сталь не снижает пластические свойства до -70°С, при -196°С пластичность резко снижается
18Г2	Не склонна к отпускной хрупкости, не флокеночувствительна, имеет повышенную стойкость против коррозии в атмосферных условиях
<i>Кремнемарганцевая</i>	
12ГС	Различные детали сельскохозяйственных машин и автомобилей, изготовляемых методом холодной штамповки (гибкой, вытяжкой), трубы паропроводные высокого давления
16ГС, 17ГС	Корпусы аппаратов, днища фланцы и другие детали паровых котлов и сосудов, а также различные детали, работающие под давлением при температурах от -40 до +475°С

Окончание табл. 4

Марка	Назначение
09Г2С	Аппараты и воздухохборники в химическом и нефтяном машиностроении, работающие под давлением при температурах от -70° до +475°С; детали экскаваторов, листовые сварные конструкции в котлостроении, детали вагоностроения, различные металлоконструкции и ответственные детали
10Г2С1	Конструкции повышенной прочности, работающие при отрицательных температурах
20Г2С	Оси, кулачки, карданные и трансмиссионные валы, ответственные тяжелонагруженные сварные узлы сельскохозяйственных машин. Хорошо сваривается
25ГС	Сварные валы гидротурбин, сварные цилиндры, плиты гидропрессов
18Х2С,	Арматура гладкого и периодического профиля,

25Г2С, 35ГС, 20ХГ2Ц, 80С	предназначенная для армирования железобетонных конструкций
<i>Хромокремнемарганцевая</i>	
14ХГС	Электросварные трубы для магистральных газопроводов высокого давления
<i>Хромокремненикелевая</i>	
10ХСНД	Сварные конструкции, аппараты и сосуды химической промышленности, детали судостроения и др.
15ХСНД	Сварные и клепаные строительные фермы, рамы сельскохозяйственных машин, конструкции зданий и сооружений
<i>Марганцевованадиевая</i>	
15ГФ	Листовые сварные конструкции вагоностроения. Сталь хорошо сваривается. Штампуемость удовлетворительная

Таблица 5

Назначение легированной конструкционной стали

Марка	Назначение
15Х, 15ХА, 15ХР, 15ХРА, 20Х и 20ХР	Поршневые пальцы, мелкие шестерни, оси, толкатели, кулачковые муфты, втулки, направляющие планки, шпиндели, плунжеры, оправки, червячные валы, копиры, поршневые кольца, упорные диски и др.
30Х, 30ХРА, 35Х, 35ХРА	Оси, валы, шестерни, пальцы, втулки, болты, оправки и другие детали в общем машиностроении
38ХА, 40Х, 40ХРА	Оси, валы, шестерни, пальцы, втулки, шатуны, шатунные болты и гайки, фланцы, рычаги, пиноли, шпиндели, оправки, впускные клапаны, червячные валы, рейки, муфты, кривошипы, полуоси, фрикционные диски, штоки и др., детали в автотракторном и общем машиностроении; роторы турбокомпрессоров, коленчатые валы, турбинные диски, соединительные муфты – в турбостроении; высокопрочные трубы – в нефтеперерабатывающем машиностроении; баллоны большой емкости, работающие

45Х, 45ХЦ и 50Х	Оси, валы, шестеренчатые валы, кольца, шестерни, втулки, патроны для протягивания, пальцы и другие детали, работающие на истирание без значительной ударной нагрузки. Сталь марки 50Х – валки горячей прокатки, оси, валы, крупные шестерни, редукционные валы, упорные кольца и др.
10Г2	Патрубки, змеевики, трубные пучки, крепежные детали, фланцы, трубные решетки, штуцера и другие, работающие при температурах до -70°С под давлением в нефтеперерабатывающем машиностроении Сварные (толщиной ≤ 4 мм) и штампованные детали: подmotorные рамы, косынки и др.

Продолжение табл. 5

Марка	Назначение
35Г2, 40Г2	Коленчатые валы, полуоси, цапфы, оси, рычаги сцепления, вилки переключения передач, кожухи, шестерни, кольца, болты, поршневые штоки, распределительные валы, карданные валы и др.
45Г2 и 50Г2	Шатуны, полуоси, карданные валы и другие валы и оси
18ХГ, 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ, 25ХГМ селект, 20ХГР и 27ХГР	Мелкие неотчетственные детали Шестерни полуосей и коробок передач грузовых автомобилей, сателлиты, кулаки шарнира переднего ведущего моста грузовых автомобилей, втулки, червячные валы, кулачковые муфты, пальцы, шкворни, конические кольца подшипников диаметром 60...250 мм и ролики диаметром до 25 мм, шпиндели, торсионные валы и другие детали Сталь марки 30ХГТ в цементованном состоянии – тяжело нагруженные шестерни коробки передач и заднего моста грузовых автомобилей; после улучшения – детали

	станков
35ХГ2, 40ХГ, 40ХГР, 40ХГТР	Полуоси, валы, кулаки, звездочки, пальцы и другие детали в автотракторном, сельскохозяйственном и дорожном машиностроении. Сталь марки 35ХГ2 – отливки траков гусениц
33ХС, 38ХС, 40ХС	Валы муфт сцепления, рычаги переключения передач, валы коробок скоростей и др. Сталь марки 38ХС – впускные клапаны тракторов
27СГ, 35СГ, 36ГС2	Рычаги, опорные катки, пальцы звеньев и траки гусениц, различные детали дорожных машин и др.
30ХМ, 30ХМА, 35ХМ, 34ХМ1А	Валы, оси, цапфы, втулки, шпильки, шестерни, буры, детали рулевого управления

Продолжение табл. 5

Марка	Назначение
15ХФ и 20ХФ	Шестерни, поршневые пальцы, кулачковые муфты, втулки, червячные валы, копиры, плунжеры и др.
20Х3Ф	Ролики крупногабаритных подшипников диаметром до 150 мм.
40ХФА	В улучшенном состоянии – валы, траверсы, шестерни, работающие при температурах до +400°С
15НМ и 20НМ, 12ХН2, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН3А, 20Х2Н4А, 20ХН, 20ХНР, 20ХГНР	Шестерни, зубчатые венцы, пальцы, оси и др. Шестерни, шлицевые валы, шпиндели, кулачковые муфты, втулки, ролики, шпильки, поршневые пальцы. Сталь марки 20Х2Н4А применяется, кроме того, для изготовления колец диаметром 200-250 мм и роликов диаметром 60...150 мм для крупногабаритных подшипников
40ХН, 45ХН, 30ХН3А, 30ХНР, 40ХНР, 40ХГНР	Коленчатые валы, шатуны, шестерни, шестеренчатые валы, шпиндели, червячные валы, валы муфт сцепления, впускные кла-

50ХН	Валки горячей прокатки
20ХГС, 25ХГСА	Валики, оси и другие детали, а также детали сварных конструкций
30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА	Валики, оси, тормозные ленты моторов, фланцы, корпуса, обшивки, лопасти компрессорных машин, работающие при температурах до 200°С в условиях значительных нагрузжений, крепежные детали, рычаги, толкатели, ответственные детали сварных конструкций (сталь марки 30ХГС), работающие при знакопеременных нагрузках, и др.
38ХГС	Полуоси тяжело нагруженных тракторов

Окончание табл. 5

Марка	Назначение
14Г2НР, 14ХГ2СР, 15ХГНТА, 15Х2ГН2Т, 15Х2ГН2ТРА, 15Х2Г2СВА, 25ХГСНТ	Шестерни, зубчатые венцы, пальцы, оси, ролики, шатуны и другие детали станкостроения, автотракторостроения, горнорудного, угольного и других отраслей машиностроения
20ХНМ	Шестерни, сателлиты и другие ответственные детали в автомобилестроении
18Х2Н4В (М) А	Наиболее ответственные крупногабаритные шестерни, коленчатые валы с поверхностно упрочненными шейками, шатуны, шестеренчатые валы и другие детали уникального оборудования
20ХН4ФА	Крупногабаритные шатуны, муфты и другие детали
34ХН3М	Диски, цельнокованные роторы и другие детали паровых турбин и компрессоров, работающие при температурах до 450°С; оси эскалаторов, тяжело нагруженные шестерни и коленчатые валы, полумуфты, муфты и другие детали
40ХН	Коленчатые валы, клапаны, шатуны, крышки шатунов, шестерни, шпильки, муфты и другие детали в автомобиле-, моторо-, прессо- и станкостроении

30Х2НВА, 38ХН3ВА	Валы, шатуны, болты, шпильки и др. Диски, покрышки, валы и роторы турбин и компрессорных машин, а также другие детали, работающие при температурах до 400°С, детали редукторов, болты, шпильки и т.д. Эти стали являются заменителем стали марки 34ХН3М
45ХНМФА	Валы, торсионные валы сечением до 100 мм и другие сильно нагруженные детали, работающие при резких скручивающих нагрузках

Сталь тонколистовая для автомобильных кузовов. Листы изготовляют из качественной малоуглеродистой стали для холодной штамповки деталей с особо сложной вытяжкой (категория ОСВ) и для штамповки деталей со сложной вытяжкой (категория СВ). Листы изготовляют в термически обработанном состоянии и в дрессированном виде. По качеству поверхности листы разделяются на две группы отделки.

Сталь тонколистовая качественная углеродистая конструкционная поставляется в отожженном, нормализованном, отпущенном и в высокоотпущенном состояниях. Горячекатаные листы со станов непрерывной прокатки допускается поставлять без термической обработки при соблюдении всех норм по свойствам. Холоднокатаные листы марок 05кп и 08кп для штамповки деталей весьма глубокой вытяжки поставляются по механическим свойствам и микроструктуре или по штампуемости, а в необходимых случаях и в дрессированном виде. По способности к вытяжке при штамповке листы подразделяются на группы: ВГ – весьма глубокой, Г – глубокой и Н – нормальной вытяжки.

К листовой стали для весьма глубокой и глубокой вытяжки предъявляются определенные требования по величине зерна.

Сталь листовая конструкционная для авиастроения поставляется в термически обработанном состоянии (отожженной, нормализованной или высокоотпущенной). Толстые листы, прокатанные на станах непрерывной прокатки, могут поставляться без термической обработки. Классификация листов по способности к вытяжке и состоянию отделки поверхности приведена в табл. 6.

Таблица 6

Классификация листов по способности к вытяжке и состоянию отделки поверхности

Группа	
Отделки поверхности	Вытяжки
<i>Холоднокатаные листы</i>	
I	ВГ Г Н
<i>Горячекатаные листы толщиной до 10 мм</i>	
II	ВГ Г Н
<i>Горячекатаные листы толщиной более 10 мм</i>	
III	Г Н
IV	–

Окончание табл. 6

Сталь горячекатаная тонколистовая качественная углеродистая конструкционная для автостроения используется для изготовления деталей холодной штамповкой. Листы поставляются в термически обработанном состоянии. Листы, прокатанные на станах непрерывной прокатки, могут поставляться без термической обработки. Листы из стали 25 и выше по особым техническим условиям могут быть отожжены на зернистый перлит.

По штампуемости листы разделяются на листы глубокой (Г) и нормальной (Н) вытяжки. По состоянию поверхности и штампуемости листы разделяются на четыре категории: IГ, IIГ, IН, IIН.

Сталь тонколистовая легированная конструкционная поставляется в виде горяче- и холоднокатаных листов в термически обработанном состоянии: отожженном, нормализованном, нормализованном и отпущенном, высокоотпущенном.

Лента стальная низкоуглеродистая холодной прокатки предназначена для штамповки деталей в машиностроении и для изготовления труб и других изделий.

Рессорно-пружинную легированную сталь, характеризующуюся высокими пределами текучести (упругости) и выносливости при достаточной вязкости и пластичности, применяют для изготовления рессор, пружин, буферов и других деталей, работающих в условиях динамических и знакопеременных нагрузок (табл. 7).

Таблица 7

Назначение и характеристика стали	
Марка	Назначение и характеристика
<i>Марганцовистая</i>	
55ГС	Тормозные шкивы и др.
<i>Кремнемарганцовистая</i>	
55СГ, 60СГ и 60СГА	Рессоры толщиной от 3 до 14 мм
<i>Кремнистая</i>	
50С2 и 55С2	Рессоры, подвески, натяжные пружины в автостроении; рессоры ведущей оси, рессоры, тендера, пружины предохранительного и обратного клапана в железнодорожном транспорте; детали, работающие на переменный изгиб
60С2 и 60С2А	Рессоры, изготавливаемые из полосовой стали толщиной 3...16 мм; пружины из полосовой стали толщиной 3-18 мм и из пружинной ленты толщиной 0,08...3 мм, витые пружины из проволоки диаметром 3...12 мм В станокостроении – спиральные пружины из проволоки диаметром более 6 мм В автотракторостроении – пружина передней и независимой подвески, рессоры, натяжные пружины и др. Рессоры и пружины с круглым, квадратным и овальным сечением Торсионные валы, пневматические зубила и др. Максимально допустимая рабочая температура +250°С. Сталь после термической обработки обладает высокими пружинящими свойствами
63С2А 70С3А	Различные рессоры и пружины. Нагруженные пружины ответственного назначения.
<i>Хромомарганцовистая</i>	

50ХГ и 50ХГА	Рессоры легковых и грузовых автомобилей. Сталь закаливается в масле на твердость HRC 58...60
--------------	--

Окончание табл. 7

Марка	Назначение и характеристика
<i>Хромомарганцевованадиевая</i>	
50ХГФА	Ответственные пружины и рессоры легковых автомобилей; пружины, работающие при повышенных температурах (до 300°С); пружины различного назначения, подвергающиеся в процессе работы многократным переменам нагрузок и требующие длительного цикла работы
<i>Хромованадиевая</i>	
50ХФА	Клапанные пружины и рессоры легковых автомобилей; сальниковые пружины, пружины для секционных колец поршня цилиндра, листовые рессоры автомобиля, пружины, работающие при повышенных температурах (до 300°С), пружины, подвергающиеся в процессе работы многократным переменам нагрузок и требующие длительного цикла работы. Сталь малосклонна к росту зерна; прокаливается в сечении до 50 мм при закалке в масле
<i>Хромокремнистая</i>	
60С2Х	Крупные высоконагруженные пружины и рессоры ответственного назначения (рессоры трактора и др.)
70С2ХА	Высоконагруженные пружины из тонкой пружинной ленты (пружины часовых механизмов, различных приборов и др.)

Кроме легированной стали для изготовления рессор и пружин применяют углеродистую сталь марок 65, 70, 75, 85.

Величина предела текучести в углеродистой стали после окончательной термической обработки должна быть не ниже 800 МПа. Значения относительного удлинения и сужения поперечного сечения, характеризующие пластичность, должны быть не ниже 5 и 20% соответственно.

Углеродистая рессорно-пружинная сталь содержит (в %): 0,6...1,00 С; 0,30...0,80 Мп и 0,15...0,37 Si. Содержание углерода в легированной ста-

ли находится в пределах 0,40-0,74 %. Легирование производится преимущественно кремнием, марганцем и хромом, а для особо ответственных деталей вводятся также никель, вольфрам и ванадий.

На предел выносливости стали влияет также состояние поверхности образца, так как наружные дефекты могут являться концентраторами напряжений и причиной образования усталостных трещин. Обезуглероживание поверхности также существенно снижает усталостную прочность стали.

Оптимальным пределом твердости для рессор, обеспечивающим максимальный предел выносливости, является HRC 39...44.

Упругие и прочностные свойства пружинной стали повышаются при применении изотермической закалки.

Для пружин, работающих при повышенных температурах или в коррозионно-активных средах, применяют теплоустойчивую и нержавеющую сталь разных марок, легированную значительными количествами хрома, никеля, вольфрама и молибдена.

Сталь для холодной высадки изготавливается в виде прутков круглого и шестигранного сечений. Выпускается два вида сталей: горячекатаная (термически обработанная и без термической обработки, с обычным классом точности по допускаемым отклонениям) и калиброванная (зачастую в шлифованном виде, с 4-м классом точности по допускаемым отклонениям). Для выпуска применяются следующие марки стали: 10, 25, 30, 35, 40, 45, 15X, 20X, 30X, 35X, 40X, 38XA, 20Г2, 40ХН, 15ХФ, 20ХФ, 30ХМА, 20ХГСА, 30ХГС.

Сталь для отливок (табл. 8) предназначена для производства фасонных деталей, получаемых отливкой в земляные и металлические формы (кокили) или методами точного литья.

Таблица 8

Назначение и свойства стали для отливок	
Марка	Назначение и свойства
15Л, 20Л	Мульды разливочных машин, шайбы, крышки цилиндров, шлаковые ковши, поддоны, арматура печей, рычаги, педали и другие детали, подвергающиеся действию динамических нагрузок и резким изменениям температуры

Продолжение табл. 8

Марка	Назначение и свойства
25Л, 30Л	Рычаги сцепления, корпуса конечной передачи, ступицы задних колес, ведущие колеса, ступицы ведущих колес в тракторостроении, корпуса турбин, станины прокатных станков и металлорежущих станков, маховики и другие фасонные детали, работающие при средних статических и динамических нагрузках; детали сварнолитых конструкций
35Л, 40Л, 45Л	Станины, корпуса, детали бурильных труб, лебедок, втулки компрессоров, муфты, тормозные диски, шестерни, зубчатые венцы, ведущие и направляющие колеса, кожухи, опорные катки, чашки сателлитов, рычаги, вилки, катки, звездочки и другие детали ответственного назначения, работающие при средних удельных давлениях и скоростях и подвергающиеся сильному износу
50Л и 55Л	Шестерни, бегунки, колеса, зубчатые венцы, зубчатые муфты подъемно-транспортных машин, ходовые колеса, валки крупно-, средне- и мелкосортных станков для прокатки мягкого металла. Сталь применяют после поверхностного упрочнения с нагревом током высокой частоты (т.в.ч.)
70Л	Ходовые колеса диаметром до 1000 мм мостовых кранов большой грузоподъемности. Сталь применяют после улучшения и поверхностного упрочнения с нагревом т.в.ч.
35ГЛ	Диски, звездочки, зубчатые венцы, шкивы, крестовины, траверсы, ступицы, вилки, зубчатые колеса, валы, кулачковые муфты, крышки подшипников, цапфы, ковши драглайнов, детали экскаваторов, щеки дробилок, бандажи бегунов и другие детали дробильно-размольного оборудования
40ГЛ	Цепные колеса лебедок и редукторов, шестерни, бандажи, зубчатые колеса и другие детали, подвергающиеся износу и ударным нагрузкам

Марка	Назначение и свойства
20ГСЛ	Лопасты гидротурбин с облицовкой листами из нержавеющей стали, зубчатые венцы и колеса, втулки, лопатки, сектора, ролики, рычаги и другие детали

Окончание табл. 8

	повышенной прочности
30ГСЛ	Рычаги, фланцы, сектора, венцы зубчатые ролики – обойма и др.
40ХЛ	Фасонные отливки, отливаемые методами точного литья, отливки небольших сечений и другие детали в общем машиностроении
35ХМЛ	Ответственные нагруженные детали, работающие при повышенных температурах, - пластины пластинчатых питателей, крестовины, втулки, зубчатые колеса и др. Свариваемость стали ограниченная
35ХГСЛ	Зубчатые колеса, звездочки, оси, валы, муфты и другие ответственные детали, работающие в условиях трения
40Г2Л	Нагруженные детали, подвергающиеся износу и ударным нагрузкам
70ХЛ	Футорки шаровых мельниц, бегуны и другие детали
25ХГСЛ	Детали фонтанной арматуры
30ХГСЛ	Шестерни, подушки и другие детали, подвергающиеся ударным нагрузкам и износу. Свариваемость ограниченная
08ГДНФЛ, 13ХНАФТЛ, 12ДН1МФЛ	Различные детали для судостроения
30ХМЛ	Шестерни, крестовины, втулки, зубчатые колеса. Свариваемость хорошая. Сталь имеет повышенную склонность к холодным трещинам
35ХН2ВЛ	Сильно нагруженные зубчатые венцы и колеса и другие детали. Сталь имеет повышенную склонность к трещинам и склонна к камневидному излому
25ГСЛ	Различные детали машин повышенной прочности
35ХНЛ	Зубчатые венцы, шестерни, втулки, зубчатые колеса экскаваторов
27СГТЛ	Детали тракторов

Железоуглеродистые сплавы, содержащие свыше 2,11% углерода (также легирующие элементы), называют чугуном. Чугун условно подразделяют на серый (марки С4), ковкий (К4) и высокопрочный (В4), хотя в ряде случаев провести между ними границу очень трудно. По механическим свойствам чугун классифицируют: по твердости (мягкий чугун < НВ 149, средней твердости НВ 197...269, твердый > НВ 269), по прочности

(обыкновенной прочности $\sigma_b < 200$ МПа, повышенной прочности $\sigma_b = 200...380$ МПа, высокой прочности $\sigma_b > 38$ МПа), по пластичности (непластичный $\delta < 1\%$, малопластичный $\delta = 1...5\%$, пластичный $\delta = 5...10\%$, повышенной пластичности $\delta > 10\%$). По специальным свойствам чугун подразделяют на износостойкий, антифрикционный, коррозионностойкий, жаростойкий, немагнитный. Большое влияние на структуру и свойства чугуна оказывают процессы плавки и термической обработки, а также содержание легирующих элементов.

Наличие графитовых включений обеспечивает чугуну по сравнению со сталью целый ряд существенных преимуществ. Чугун нечувствителен к концентрации напряжений, т.е. наличие отверстий, углов, переходов, возможных раковин в отливках, пор и неметаллических включений, сравнительно мало влияют на реальную конструкционную прочность, в то время как в стальных отливках наличие таких концентраторов напряжений значительно снижает механические свойства.

Прочность серого чугуна зависит от прочности металлической основы, содержания и формы графитовых включений. Предел прочности при сжатии в 2-4 раза выше, чем при растяжении, поэтому серый чугун применяют для изготовления деталей машин, работающих преимущественно в условиях сжимающих нагрузок. Детали, несущие высокие нагрузки, должны изготавливаться из серого чугуна, имеющего предел прочности на растяжение около 250...300 МПа и модуль упругости 115...135 ГПа (СЧ 21-40, СЧ 28-48, СЧ 32-52). К таким деталям относятся: кронштейны, зубчатые колеса, базовые и корпусные детали повышенной прочности и износостойкости, станины и салазки станков, шпиндельные бабки, блоки и гильзы цилиндров, поршневые кольца, распределительные валы, толкатели, седла клапанов, тормозные барабаны и диски сцепления; станины, крышки, фланцы, щиты электродвигателей и др. Для изготовления деталей с пониженными требованиями (крышки, кожухи, патрубки и др.) используют серый чугун (СЧ 12-28) с пределом прочности 100...150 МПа и модулем упругости 60...85 ГПа.

Ковкий чугун получают графитизирующим отжигом белого чугуна. По своим литейным и механическим свойствам он занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью ($\sigma_b = 300...700$ МПа, НВ 90...270). По разнообразию свойств, в зависимости от структуры, ковкий чугун близок к стали и в ряде случаев является полноценным ее заменителем. По сравнению со сталью ковкий чугун обладает повышенной

демпфирующей способностью и малой чувствительностью к наличию концентраторов напряжений. Структура ковкого чугуна обеспечивает высокую плотность металла. Отливки с толщиной стенки 7...8 мм выдерживают гидростатическое давление до 4 МПа, что позволяет использовать ковкий чугун для производства большого ассортимента деталей водо-, газо- и паропроводных установок.

Ковкий чугун используют в автомобиле-, тракторо-, сельхозмашиностроении и других отраслях промышленности для изготовления шестерен, муфт, храповиков, рычагов, ступиц, задних мостов, коленчатых валов, деталей рулевого управления, картеров редукторов, башмаков и др.

За счет легирования и термической обработки производят чугун с особыми свойствами: чугун с шаровидным графитом (например, ВЧ 45-10), износостойкий чугун, чугун для работы в условиях абразивного износа (ИЧХ12М и др.), в условиях износа при повышенных температурах (Х28Н10 и др.), в условиях сухого трения (например, титаномедистый), антифрикционный чугун (АСЧ-1 и др.), жаростойкий (например, ЖЧХ-08, ЖЧЮ-22), коррозионностойкий (СЧЩ-1 и СЧЩ-2), жаропрочный (например, ЧН19Х3М), немагнитный (типа «номаг»).

1.2. Алюминий и его сплавы

Алюминий характерен тем, что его плотность составляет 2,7 т/м³ против 7,8 для железа и 9,0 для меди.

Сплавы на основе алюминия являются деформируемыми, т.е. получают методом прокатки, прессования,ковки и т.д. Алюминиевые сплавы характеризуются высокими тепло- и электропроводностью, хорошей коррозионной стойкостью, высокой технологической пластичностью, хорошей обрабатываемостью, резанием и большим разнообразием механических, физических, антифрикционных свойств и др.

На основе алюминия выпускаются следующие сплавы: АД, АД1, АМц, АМг, АМг5П, АМг3, АМг5, АМг6, Д1, Д1П, Д6, Д16П, Д18, Д18П, АК4, АК41-1, АК6, АК:-1, АК8, В93, В94, В95, В96Ц, В65, ВД17Ю Д20, Д21, АД31, АД33, АПБА-1, а также спеченная алюминиевая пудра (САП) и спеченные алюминиевые сплавы (САС). Основными легирующими элементами являются медь, магний, марганец, цинк, кремний, а также титан, хром, бериллий, никель, цирконий, железо и др.

Из сплавов алюминия изготавливают полуфабрикаты (листы, прессованные профили, поковки и штамповки, прутки, проволоку, фольгу) разнообразных форм и размеров.

Деформируемые алюминиевые сплавы подразделяются на неупрочняемые и на упрочняемые термической обработкой. Механические свойства неупрочняемых сплавов повышаются за счет легирования. Дополнительное упрочнение эти сплавы могут получать в результате нагартовки (деформация в холодном состоянии). Однако использование нагартовки приводит к снижению пластичности, поэтому после нагартовки применяют термическую обработку с целью повышения пластичности. К упрочняющим относятся такие сплавы, которые, помимо упрочнения от легирования, упрочняются также за счет распада пересыщенных твердых растворов. Термическая обработка сплавов в этом случае состоит обычно из закалки и старения (естественного или искусственного). Для дополнительного упрочнения таких сплавов используют нагартовку, производя ее между закалкой и старением. После этих операций возможно применение отжига.

В зависимости от области применения алюминиевых сплавов к ним предъявляются и соответствующие требования. Для деталей, несущих большие механические нагрузки, выбирают высокопрочные сплавы, работающие в условиях растяжения, сжатия, кручения и т.д. Для деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, основным параметром будет выступать усталость (выносливость) алюминиевых сплавов; для деталей, работающих под действием статических нагрузок, – долговечность, для заклепок – сопротивление срезу, для электротехнической промышленности – электропроводность, температурный коэффициент электрического сопротивления, коэффициент термического расширения и т.д.

Сопротивление срезу заклепочной проволоки для некоторых сплавов приведено в табл. 9.

Таблица 9

Гарантированное сопротивление срезу заклепочной проволоки

Сплав	Состояние материала	τ _{ср} , МПа (не менее)	
		проволока	заклепки
АД, АД1	Нагартованный	0,6	–

АМц	Термически обработанный	0,7	–
АМг5П	Отожженный	1,6	–
Д18П	Закаленный и естественно состаренный	1,9	1,9
В65	Закаленный и искусственно состаренный	2,5	2,7
Д1П	Закаленный и естественно состаренный	2,4	2,2
Д16П	Закаленный и естественно состаренный	2,7	2,5
Д19П	Закаленный и естественно состаренный	2,7	2,7
В94	Закаленный и искусственно состаренный	2,9	2,9
Д23	Закаленный и естественно состаренный	3,0	3,2

Механические свойства полуфабрикатов из сплава АМцМ-1 приведены в табл. 10, а электрические свойства – в табл. 11.

Таблица 10

**Механические свойства полуфабрикатов
из сплава АМцМ-1 при 20°C**

Вид полуфабриката	Состояние материала	В продольном направлении σ_B , МПа	В поперечном направлении σ_B , МПа
Полосы толщиной 10 мм	Литой	1,7	1,65
Листы толщиной 0,5...1,0 мм	Нагартованный	3,2...3,3	3,2...3,3

Таблица 11

Электрические свойства полуфабрикатов из сплава АМцМ-1

Электрические свойства	Нагартовка (нагрев – 200°C)	Нагартовка (нагрев – 300°C)	
	16 ч	3 ч	6 ч
	Охлаждение на воздухе		

Удельное электрическое сопротивление ρ , Ом·мм ² /м при 20°C	0,119	0,114	0,100
Температурный коэффициент электрического сопротивления, (0...100°C)·10 ⁻³	0,67	0,96	1,22

Весьма существенным свойством алюминиевых сплавов является их коррозионностойкость. Например, чистый алюминий (АД, АД1), сплавы АМц, АМг2 и АМг3 обладают высокой коррозионной стойкостью и могут применяться в морских и тропических условиях. Коррозионная стойкость этих сплавов не чувствительна к методам производства полуфабрикатов. Сварные соединения этих сплавов по коррозионной стойкости близки к основному металлу. Коррозионная стойкость более легированных сплавов АМг5, АМг6 чувствительна к методам производства и условиям эксплуатации. Так, при длительном нагреве их на 60...70°C они склонны к коррозии под напряжением и межкристаллитной коррозии. Холодная деформация усиливает эту склонность. Производство полуфабрикатов при строго контролируемых условиях обеспечивает им вполне удовлетворительную коррозионную стойкость в условиях эксплуатации. Сварные соединения этих сплавов по коррозионной стойкости близки к основному металлу и не подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением. Однако нагрев материала выше 100°C после сварки делает его склонным к межкристаллитной коррозии. Заклепки из сплава АМгП следует ставить в конструкцию анодированными в серной кислоте с наполнением анодной пленки хромпиком. Сплавы АВ, АД31, АД33 и АД35 обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью. Они не чувствительны к технологическим и эксплуатационным нагревам; основной металл и сварные соединения не склонны к коррозионному растрескиванию под напряжением. Сплав АВ из-за наличия в его составе меди обладает меньшей коррозионной стойкостью, чем сплавы АД31, АД33 и АД35. Удовлетворительной коррозионной стойкостью в искусственно состаренном состоянии обладает сплав АВ, содержащий не более 0,1% Cu.

Сплавы, содержащие в своем составе медь (Д1, Д18, ДЗП, Д16, ВД17, Д6, Д19, М40), а также сплавы типа В95 имеют пониженную коррозионную стойкость.

Литейные алюминиевые сплавы (АЛ1, АЛ2...АЛ13) имеют ряд особенностей: повышенную жидкотекучесть, обеспечивающую получение

тонкостенных и сложных по конфигурации отливок; невысокую линейную усадку; пониженную склонность к образованию горячих трещин.

В основном используются сплавы на основе: Al-Mg (АЛ8, АЛ27; высокая коррозионная стойкость, наибольшая удельная прочность и ударная вязкость, хорошая обрабатываемость резанием); Al-Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9; высокие литейные свойства; повышенная герметичность отливок); Al-Cu (АЛ7, содержание меди до 6%; высокая прочность); Al-Cu-Si (АЛ3, АЛ10, АЛ14, АЛ15; простая технология литья, хорошая обрабатываемость резанием) и др.

Свойства некоторых алюминиевых сплавов представлены в табл. 12.

Таблица 12

Механические свойства литейных алюминиевых сплавов

Сплав	Режим термической обработки	Механические свойства при 20°С			
		σ_{ϵ}	$\sigma_{0,2}$	HB	δ_{ϵ} %
		МПа			
АЛ6	T2	1,7	1,1	55	2
АЛ8	T4	3,5	1,7	80	10
АЛ27	—	3,6	1,8	90	18
АЛ27-1	—	3,8	1,9	—	20
АЛ23	—	2,5	1,4	75	10
АЛ23-1	—	2,6	—	80	12
АЛ13	T2	—	1,1	65	3
АЛ22	T4	2,6	1,8	90	4
АЛ7	—	2,4	1,6	65	7
	T5	2,6	2,0	85	3
	T4	3,2	1,8	80	9
АЛ19	T5	3,6	2,5	100	5
	T2	2,2	1,5	80	2
АЛ24	T5	2,9	1,8	75	3
АЛ10В	T6	2,8	2,2	100	0,5
АЛ25	T1	2,0	1,6	—	—
АЛ26	T2	2,1	1,7	—	0,4
АЛ30	T1	—	—	—	0,5

Спеченный алюминиевый порошок (САП) по сравнению с обычными алюминиевыми сплавами обладает высокой прочностью при температу-

рах в интервале 300...500°С и в отличие от них он не изменяет свои свойства после длительного (до 10000 ч) нагрева при температурах до 500 °С.

По коррозионной стойкости САП равноценен чистому алюминию. При введении в САП небольшого количества железа и никеля (в сумме 1,2...1,5%) он способен длительно работать в паровоздушной среде при температурах до 350°С. Листовой САП можно сваривать контактной (точечной и роликовой) сваркой; для этой цели применяют плакирование листов САП сплавом АМц и АЛ.

САП может свариваться аргонодуговой сваркой, плавлением, если брикеты, из которых изготовлены полуфабрикаты, подвергались высокотемпературной дегазации. Механическая обработка резанием САП не вызывает трудностей; при этом может быть обеспечен 10-й класс точности.

Спеченные материалы (САС) содержат в своем составе минимальное количество окиси алюминия, а в качестве легирующих элементов в них используются железо, хром, никель и другие элементы, образующие с алюминием малорастворимые интерметаллические соединения. Прочность таких материалов достигает значения 400 МПа, а предел текучести – 330 МПа. Прочность САС на 50% выше прочности нелегированных САП.

Из материалов САП-1 и САП-2 освоено производство тех же полуфабрикатов, что и из обычных алюминиевых сплавов (листы, профили, штамповки, фольга, трубы). Максимальный вес прессованного полуфабриката составляет 300...400 кг. Листы изготовляют толщиной 0,8...10 мм, размером 1000х7000 мм.

Детали и конструкции, работающие в интервале температур 300...500°С, могут быть изготовлены из материала САП вместо нержавеющей стали. Так, например, корпус колеса вентилятора может быть выполнен из листового материала, а ступица изготовлена штамповкой. Соединение деталей осуществляется клепкой. В результате применения САП вес вентилятора уменьшается на 25...30%. Большие преимущества получаются при применении листового и прессованного материала САП в летательных аппаратах, где уменьшение веса имеет решающее значение. Из прутков САП изготовляют штамповки весом от 1 до 150 кг, которые используются для работы при температурах до 500°С и для кратковременной работы (в течение 90...120 с) при температурах газового потока 900...1000°С.

Высокая жаропрочность и коррозионная стойкость САП позволяют применять его для изготовления ответственных деталей: вентиля для сжатого воздуха (500°), вентиля управляющей системы реактивных двигателей, дроссельных и редукционных клапанов гидравлических и топливных систем самолетов. САП находит также применение в электротехнической, химической и машиностроительной промышленности.

Фольга и тонкая проволока из САП могут найти успешное применение для изготовления конденсаторов и обмотки электродвигателей, работающих в условиях повышенных температур (350...400°С).

Гладкие и ребристые трубы из САП могут быть использованы как теплообменники до 500...550°С и благодаря высокой коррозионной стойкости в агрессивных средах находят применение в нефтяной и химической промышленности.

Из САП-1 и САП-2 изготавливают компрессорные диски, лопасти вентиляторов и турбин, заклепки, из САП-3 и САП-4 – болты, винты и другие детали.

При низком удельном весе ($\gamma = 2,75 \text{ т/м}^3$) и сравнительно небольшой стоимости САП является перспективным материалом для изготовления поршней форсированных двигателей. В больших дизельных поршнях САП вводят только в температурно-нагруженные места. В авиационной и автомобильной промышленности из САП-1 и САП-2 изготавливают поршневые штоки, небольшие шестерни, лопасти компрессора и ряд других деталей, работающих при 300...500°С.

Высокая коррозионная стойкость САП позволяет использовать его в судостроительной промышленности. Трубы из САП используются и в атомных реакторах.

1.3. Медь и ее сплавы

Медь обладает наивысшей после серебра электропроводностью и теплопроводностью, обладает высокой коррозионной стойкостью, хорошо полируется и легко покрывается разнообразными покрытиями, однако плохо обрабатывается резанием, имеет невысокие литейные свойства, что затрудняет изготовление из нее сложных фасонных отливок.

Применяют медь в виде листов, лент, прутков, труб, проволоки, в виде порошка для нужд керамики и др.

Физические свойства меди очень сильно зависят от примесей.

Медные сплавы обладают высокой тепло- и электропроводностью, высокой коррозионной стойкостью во влажной атмосфере, хорошим сопротивлением износу без смазки и даже при абразивном износе, низким коэффициентом трения, хорошей притираемостью в паре с другими более твердыми металлами. Медные сплавы имеют σ_v от 150 до 900 МПа, удлинение до 53% и сужение до 40%. Особенно характерна для них высокая пластичность. Большинство медных сплавов хорошо обрабатывается давлением, легко поддается обработке резанием, полированию и разнообразным покрытиям.

Медные сплавы являются надежными материалами для работы при отрицательных температурах. Прочность и удлинение у некоторых из них даже повышаются при понижении температуры до -250°С, тогда как сплавы, например на основе железа, становятся хрупкими при этих температурах.

Недостатками медных сплавов являются их сравнительно высокий удельный вес и низкие свойства при повышенных температурах. Однако в последнее время разработана серия медных сплавов (медно-циркониевые, медно-хромистые и другие) отличающихся более высокими свойствами при повышенных температурах. Очень хорошо проявляют себя в работе при повышенных температурах вставки и целые прессформы из этих сплавов для литья под давлением высокотемпературных сплавов. Стойкость таких прессформ выше, чем прессформ из сталей с хромом, вольфрамом и другими легирующими элементами, так как высокопластичные медные сплавы не чувствительны к термическим напряжениям, поэтому на поверхности медных прессформ не появляется сетка разгара, выводящая их из строя. По коррозионной стойкости во влажной атмосфере и в воде медь и сплавы на ее основе уступают только благородным металлам.

Высокие пластические свойства меди и ее сплавов позволяют получать из них полуфабрикаты и изделия весьма сложного профиля, различной толщины, размеров и т.д. Медные сплавы немагнитны.

Стандартные медные сплавы имеют обозначения, указывающие на принадлежность их к определенной группе сплавов в зависимости от химического состава.

В марке сплава указываются начальные буквы сплавов (Л – латунь, Б – бронза), начальные буквы основных легирующих элементов (например, О – олово, Ц – цинк, Мц – марганец и т.д.), а затем цифры, обозначающие содержание этих элементов в сплавах.

Например, сплав ЛАЖМц-66-6-3-2 – это латунь (Л) алюминиево-железисто-марганцовистая, которая состоит из 66% Cu, 6% Al, 3% Fe, 2% Mn, остальное Zn. Буква Л в конце, встречающаяся у некоторых марок латуней, обозначает, что сплав литейный (обычно от деформируемого отличается повышенным количеством примесей). Бр АЖ9-4 – бронза алюминиевая с железом, содержащая 9% Al, 4% Fe и остальное Cu. Бр ОЦС6-6-3 оловянно-цинково-свинцовистая бронза, содержащая 6% Sn, 6% Zn, 3% Pb, остальное Cu.

Латуни (сплавы меди с цинком). Техническое применение имеют сплавы, содержащие до 50% Zn. Этим сплавам присущи все положительные свойства меди и других медных сплавов, т.е. сравнительно высокие электропроводность и теплопроводность (20...50%) при более высокой прочности и лучшие технологические свойства по сравнению с чистой медью. Латунь применяют в виде катаных полуфабрикатов и отливок. Поэтому различают деформируемые и литейные латуни. По химическому составу латуни разделяются на двойные (простые), т.е. состоящие из меди и цинка, и многокомпонентные (сложные), в состав которых, кроме цинка, входят другие элементы, улучшающие некоторые свойства сплавов.

Влияние цинка на механические свойства латуней показано на рис. 1.

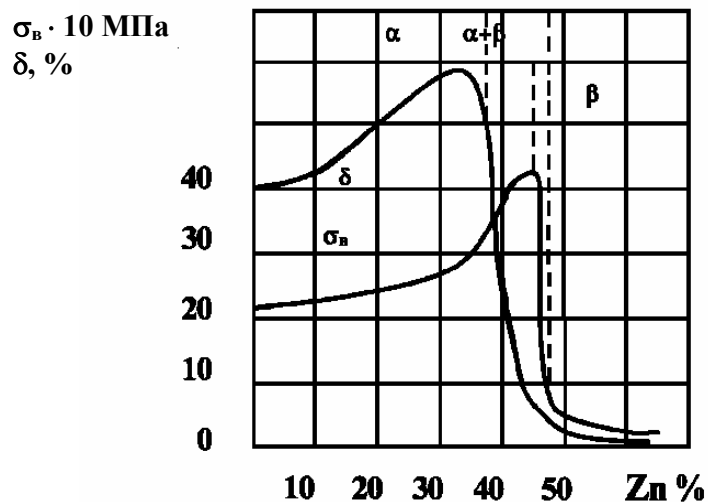


Рис. 1. Влияние цинка на механические свойства медно-цинковых сплавов

Латуни, содержащие примерно до 30% Zn (по структуре это однофазные сплавы), более пластичны; дальнейшее увеличение содержания цинка повышает прочность латуни (двухфазные сплавы), но ее пластичность резко уменьшается. Другие легирующие элементы (алюминий, марганец, кремний и др.) еще более повышают прочность и твердость латуни, уменьшая пластичность. Изменение свойств латуни при разном содержании цинка и других легирующих элементов объясняется изменением ее структуры. Латуни, состоящие из α-твердого раствора, обладают высокой пластичностью; (α+β)-латуни имеют высокую прочность и твердость, но пониженную пластичность.

Высокомедистые латуни применяют в тех случаях, где требуется высокая пластичность металла, например, при изготовлении полуфабрикатов холодным прессованием. Чем больше меди в латунях, тем выше их электро- и теплопроводность и коррозионные свойства. В то же время латуни с повышенным содержанием цинка дешевле, легче обрабатываются резанием, обладают способностью лучше прирабатываться и противостоять износу без смазки. Для повышения антифрикционных свойств в латуни вводят свинец. Свинцовистые латуни по обрабатываемости резанием стоят на первом месте среди других медных сплавов. Большинство специальных латуней (марганцовистая и др.) склонно к коррозионному растрескиванию под напряжением, поэтому не рекомендуется их применение в конструкциях при длительном действии растягивающих нагрузок в среде аммиака, морской воде и в среде, содержащей углекислоту или серный ангидрид.

Коррозионная стойкость латуней повышается применением покрытий (хромирование, никелирование и др.)

Не рекомендуется применение латуни в контакте с железом, алюминием и цинком.

Оловянные бронзы – это медные сплавы, у которых основным легирующим элементом является олово. В состав оловянных бронз входят также цинк, свинец, фосфор, никель.

Оловянные бронзы применяют в тех случаях, когда требуется высокая коррозионная стойкость в сочетании с достаточной прочностью (различная водяная и морская арматура). Эти бронзы отличаются также высокими антифрикционными свойствами, т.е. небольшим износом, малыми значениями коэффициентов трения и хорошей притираемостью в паре,

например со сталью. В этом отношении они не имеют себе равных среди медных сплавов. Благодаря хорошей теплопроводности и сравнительно высоким механическим свойствам изделия из оловянных бронз могут хорошо служить в качестве подшипниковых деталей при высоких скоростях вращения и довольно значительных удельных нагрузках без заеданий.

В отечественных оловянных бронзах содержится 2...4% Sn, 2...15% Zn, 1...30% Pb, до 3% Ni. Повышение содержания олова до 12% увеличивает предел прочности и текучести и твердость, но при этом уменьшается удлинение и ударная вязкость (рис. 2).

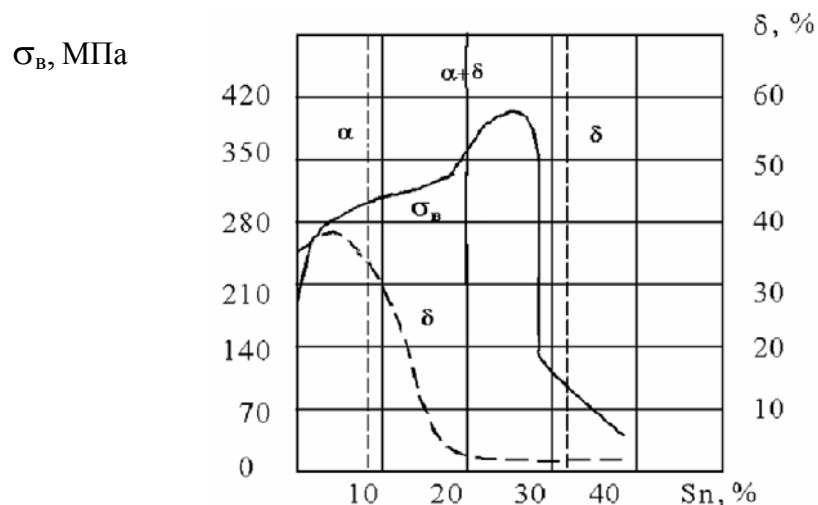


Рис. 2. Механические свойства литых медно-оловянных сплавов в зависимости от содержания олова

Цинк повышает механические свойства и жидкотекучесть малооловянных бронз, облегчает сварку и пайку. Свинец улучшает антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием, но понижает механические свойства. Добавка никеля измельчает зерно, повышает механические свойства и улучшает структуру оловянно-свинцовых бронз. Фосфор повышает антифрикционные свойства, износостойчивость и жидкотекучесть бронз, но при содержании более 0,02% понижает механические свойства. Оловянные бронзы делятся на литейные и деформируемые. Они сравнительно дефицитны, и поэтому их рекомендуется применять только в тех случаях, когда заменители (безоловянные бронзы и латуни, биме-

таллы, цинковые, легкие сплавы, пластмассы, прессованное дерево и др.) не могут обеспечить равноценную службу.

Литейные оловянные бронзы чаще всего получают путем переплавки отходов и лома и применяют главным образом для получения пароводяной (герметичной) арматуры, работающей под давлением, и для отливки антифрикционных деталей (втулки, подшипники, вкладыши, червячные пары и др.).

Все бронзы хорошо паяются мягкими припоями, однако их свариваемость затруднена (особенно многокомпонентных оловянных бронз).

Деформируемые оловянные бронзы содержат 4...8% олова и добавки фосфора, цинка и свинца. Они выпускаются в виде прутков, труб, лент и проволоки в твердом, полутвердом и мягком (отожженном) состоянии.

Высокие механические, физические и антифрикционные свойства в сочетании с удовлетворительной электропроводностью, а также высокая коррозионная стойкость делают деформируемые оловянные бронзы незаменимым материалом для изготовления пружин и пружинистых деталей в машино- и приборостроении, в авиационной и химической промышленности. Наиболее высокие упругие свойства у фосфористых бронз. Электропроводность оловянных бронз меньше, чем у чистой меди на 50...60%, но выше, чем у всех других медных сплавов одинаковой прочности. Наиболее существенным показателем деформируемых оловянных бронз является высокая усталостная прочность в коррозионных средах.

Безоловянные (специальные) бронзы — это медные сплавы, содержащие в качестве легирующих элементов Al, Ni, Si, Mn, Fe, Cd, Be, Cr и др. Название бронзы определяется легирующими элементами. Они имеют высокие механические, антикоррозионные и антифрикционные свойства, а также ряд специальных свойств (высокую электропроводность, теплопроводность, жаропрочность). Наибольшее распространение в различных отраслях машиностроения получили *алюминиевые бронзы*. В зависимости от структуры и процентного содержания алюминия (до 14%) бронзы могут быть одно-, двух- и многофазными. Однофазные сплавы имеют высокие пластичные свойства и хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии. Двухфазные сплавы отличаются повышенной прочностью, но имеют пониженную пластичность, поэтому могут быть обработаны давлением только в горячем состоянии. Аллюминиевые бронзы трудно паяются.

Кремнистые бронзы содержат кремний (1...3%), а также никель, цинк, свинец и марганец. Они отличаются высокими механическими свойствами, высокой упругостью и выносливостью, коррозионной стойкостью, антифрикционными свойствами, немагнитны, удовлетворительно свариваются, паяются и обрабатываются резанием, хорошо обрабатываются давлением.

Бериллиевые бронзы (1,7...2,5% Be) являются наиболее дорогими и дефицитными из всех медных сплавов, обладают высокой химической стойкостью, износоустойчивостью и упругостью в сочетании с прочностью и твердостью, равной свойствам легированных сталей.

В качестве жаропрочных бронз применяют *марганцевые* (Бр.Мц5) и *хромистые* (Бр.Х0,5) бронзы. Кадмиевые бронзы используют для изготовления токоснимающих щеток, проводов и других деталей, требующих высокой электропроводности и жаропрочности материала. Свинцовистые бронзы (например, Бр.С-30) применяют для заливки подшипников (вкладыши, втулки), способных работать при высоких удельных давлениях до 15 МПа, высоких температурах до 350°C и скоростях до 4...5 м/с.

1.4. Олово, свинец и их сплавы

Олово – пластичный металл белого цвета с низкой температурой плавления. Высокая коррозионная стойкость на воздухе и в некоторых агрессивных средах, нетоксичность, хорошая адгезия со многими металлами обуславливают широкое применение олова для защитных покрытий.

Олово стойко в нейтральных растворах солей, разбавленных растворах слабых щелочей, уксусной кислоте, молоке и фруктовых соках, в пресной и морской воде. Наибольшее количество олова используется для защитных покрытий железа, меди и их сплавов (особенно в пищевой промышленности). Оловянные покрытия хорошо защищают медные провода от воздействия серы, содержащейся в резине. Олово также широко применяют для производства припоев, баббитов, бронз и легкоплавких сплавов.

Пластичное белое олово (β) устойчиво при температурах от точки затвердевания до 13,2°C, а хрупкое серое олово (α) образуется ниже этой температуры. При отрицательных температурах происходит превращение белого олова в серое с достаточно низкой скоростью. Самопроизвольное разрушение оловянных изделий на холоде называют «оловянной чумой», так как переход в α -модификацию сопровождается большими объемными

изменениями, в результате которых олово рассыпается в порошок. Контакт белого олова с серым ускоряет процесс перехода олова из пластичной в хрупкую модификацию.

Введение в олово небольших добавок сурьмы, свинца, мышьяка, меди, золота, никеля, и особенно висмута, резко снижает температуру и скорость превращения β - в α -олово (0,05% висмута и 0,1% сурьмы практически полностью предотвращают этот переход). Наоборот, введение в олово германия, цинка, алюминия, теллура, марганца, кобальта и магния увеличивает скорость превращения. Серое олово можно перевести в белое переплавкой.

Свинец – пластичный металл белого цвета с низкой температурой плавления. Свинец хорошо сплавляется с другими металлами, легко наносится в расплавленном состоянии или электролитически на различные металлы, хорошо поглощает вибрацию и звук, обладает хорошими смазывающими и антифрикционными свойствами, низкой проницаемостью для радиоактивных излучений. Образующаяся на поверхности свинца тонкая плотная окисная (а также сульфатная, карбонатная, хроматная) пленка хорошо защищает его от коррозии. Свинец стоек во внешних условиях (в том числе и в земле), в серной и других кислотах, в контакте со многими металлами. Стойкость в агрессивных средах повышается добавкой в свинец сурьмы, олова, серебра, кальция, мышьяка, теллура и меди.

Благодаря высокой коррозионной стойкости и хорошей обрабатываемости давлением свинец широко используется в химической аппаратуре для облицовок различных резервуаров, ванн и др. Свинец является одним из лучших материалов для уплотнителей, сальников и прокладок, работающих в широком интервале температур. Из свинца изготавливают коррозионно-стойкие оболочки для кабелей, а благодаря низкой температуре плавления свинец применяют для производства плавких предохранителей, бойлерных пробок и др. Способность к поглощению звука и вибраций делает свинец ценным материалом для различного рода демпфирующих устройств (например, опорных плит на мостах). Свинец широко применяется в качестве легирующего элемента для стали, меди и других металлов с целью придания им антифрикционных свойств. Свинцово-серебряные сплавы являются хорошим протектором для стальных изделий, работающих в солесодержащих водах. Свинец токсичен, и его содержание в воздухе не должно превышать 0,01 мг/м³. Полуфабрикаты свинца выпускаются в виде листов (толщиной 0,2...15 мм, шириной 500 и 600 мм и дли-

ной 750...1200 мм), труб (с толщиной стенок 2...10 мм и наружным диаметром 15...170 мм) и фольги.

Для заливки вкладышей подшипников различных машин используют **баббиты** – мягкие антифрикционные сплавы на оловянной и свинцовой основах (например, Б83 – 83% олова, остальное свинец). Для повышения твердости и ударной вязкости в состав баббитов вводят различные легирующие элементы: сурьму, медь, мышьяк, кадмий, никель, теллур, магний.

1.5. Прочие металлы (магний, титан, цинк, кадмий)

Магний и сплавы на его основе имеют малую плотность (1,76...1,99 т/м³) при сравнительно высоких механических свойствах (табл. 13), что позволяет использовать их в качестве конструкционных материалов легковых машин и оборудования (деталей двигателей мотоциклов и автомобилей, отбойных молотков и т.п.), а способность хорошо противостоять ударам позволяет применять их для колес автомобилей, самолетов, орудий и др.

Таблица 13

**Механические свойства литого
и деформированного магния при 20°C**

Состояние материала	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	НВ	Е, ГПа	G, ГПа
<i>Литой магний</i>				
Отдельно литые образцы	15	300	45	16
<i>Деформированный магний</i>				
Прессованные прутки	200	400	45	16
Листы холоднокатаные	260	500	45	–
Листы отожженные	190	400	45	–
Поковки	173	–	–	–

Магниевого сплавы исключительно хорошо обрабатываются резанием (детали оптических приборов с исключительно тонкими стенками, мелкой резьбой и др.), они очень чувствительны к знакопеременным нагрузкам, поэтому при конструировании деталей следует избегать резких переходов сечения, острых надрезов, образования пазов и карманов. Для защиты от

коррозии детали из магниевых сплавов оксидируют, окрашивают или смазывают маслом или наносят неорганические пленки. Во избежание контактной коррозии не рекомендуется непосредственный контакт деталей из магниевых сплавов с деталями из сплавов алюминия, меди, никеля, стали, благородных металлов, а также с деревом и текстолитом (для стыковки используются изоляционные прокладки – фибра, пропарафиненная бумага и др.).

Температура литья магния 650...710°C, он очень ковкий и пластичен, при температуре 230...480°C хорошо обрабатывается давлением, температура прессования – 400...440°C, прокатки – 480...470°C, отжиг осуществляется при 340°C в течение 30 мин, охлаждение на воздухе.

При производстве магниевых сплавов в качестве легирующих элементов выступают: марганец (марка МА1, МА8), алюминий и цинк (МА2, МА3, МА5), а также кальций, цирконий, кадмий, неодим, серебро.

Чистая поверхность, легко получаемая при обработке резанием, делает деформируемые магниевые сплавы пригодными для изготовления гравировальных плит, механическая обработка которых стоит дешевле таких же плит, изготовленных из других материалов.

Хорошая травимось магниевых сплавов делает их пригодными для изготовления клише, дающих более четкие отпечатки по сравнению с другими применяемыми для этой цели металлами.

Магниевого сплавы обладают наибольшей износостойкостью по сравнению с другими металлами, применяемыми и для изготовления печатных форм в полиграфии. Благодаря мелкозернистой структуре листов из деформируемых магниевых сплавов значительно повышается качество печатных форм.

Большим преимуществом деформируемых магниевых сплавов является их незначительная деформация при многократных нагревах и охлаждениях. Линейные размеры цинка изменяются уже при 150°C и весьма значительно при 250°C, в то время как линейные размеры деформируемых магниевых сплавов при указанных температурах почти не изменяются.

Скорость травления пластин из деформируемых магниевых сплавов в азотной кислоте вдвое больше скорости травления цинка.

Применение деформируемых магниевых сплавов в полиграфической промышленности приводит также к экономии большого количества дефицитного свинца.

Характеристика выпускаемых промышленностью полуфабрикатов из деформируемых магниевых сплавов приведена в табл. 14.

Таблица 14

Полуфабрикаты из деформируемых магниевых сплавов, производимые в промышленном масштабе

Полуфабрикат	Размер	Марка сплава	В каком виде поставляются
Прутки	Диаметр до 200 мм	МА1, МА2 и МА8 МА3 МА5 ВМ65-1	Горячепрессованные без термической обработки Отожженные Закаленные или горячепрессованные Подвергнутые искусственному старению
Полосы	Толщина 20...40 мм, ширина до 800 мм	МА1, МА2, МА2-1 и МА8 ВМ65-1	Горячепрессованные Подвергнутые искусственному старению
Профили	Поперечное сечение от 1 до 100 см ² , длина 6...8 м	МА1 и МА8 ВМ65-1	Горячепрессованные Подвергнутые искусственному старению
Листы	Толщина 0,8...10 мм, ширина до 1200 мм, длина до 3000 мм	МА1 и МА8	Отожженные или полунатянутые
Плиты	Толщина 11...32 мм, ширина до 1000 мм, длина до 2000 мм	МА8 и МА2-1	Горячекатаные без термической обработки

Окончание табл. 14

Полуфабрикат	Размер	Марка сплава	В каком виде поставляются
Поковки	Весом до 100 кг	МА1 и МА2 МА3 МА5 ВМ65-1	Без термической обработки Отожженные Закаленные, подвергнутые искусственному старению

Титан имеет следующие основные преимущества по сравнению с другими конструкционными металлами: малый удельный вес (плотность 4,42...4,52 г/см³), высокие механические свойства в широком интервале температур, отсутствие хладноломкости и хорошую коррозионную стойкость. Титан в виде тонкой стружки (например, при обработке тупым режущим инструментом) может гореть на воздухе или в атмосфере азота. Высокая химическая активность титана при плавке требует применения специального оборудования, в том числе и вакуумирования.

Для придания титану требуемых свойств сплавы его легируют небольшим количеством металлов платиновой группы (для повышения коррозионной стойкости), а также алюминием, молибденом, ванадием, марганцем, хромом, оловом, железом, цирконием, ниобием.

Титановые сплавы выпускают в виде листов, прутков, труб, проволоки, чушек. Титановые сплавы низкой и средней прочности (BT1-00, BT1, OT4-0, OT4-1, OT4) обладают хорошей штампуемостью в холодном состоянии. Титановые сплавы повышенной прочности (BT4, BT5-1, BT14, BT15 с σ_b вплоть до 1,3 ГПа) обладают высокой упругой отдачей штампуемого материала и высоким остаточным напряжением в готовых изделиях, поэтому при штамповке осуществляют нагрев деформируемого материала, а также межоперационный отжиг при температуре 600...750°C.

Цинк – пластичный металл голубовато-белого цвета с низкой температурой плавления (420°C), обладающий хорошими литейными свойствами и сравнительно высокой стойкостью на воздухе и в пресной воде. Цинк легко прессуется, штампуется, прокатывается и протягивается. Около половины выпускаемого цинка используется для защитных покрытий сталей, а также в качестве протекторов для катодной защиты стальных сооружений. Цинк имеет высокую коррозионную стойкость не только на воздухе, но и в воде, в том числе и в морской.

Для литья под давлением применяют тройные сплавы цинк-алюминий-магний и четверные сплавы цинк-алюминий-медь-магний. Добавки алюминия, меди и магния повышают прочность и улучшают жидкотекучесть цинка. При литье цинковых сплавов под давлением получают отливки сложной формы, тонких сечений, с точными размерами, не требующими дальнейшей механической обработки. Цинковые сплавы хорошо обрабатываются резанием.

Кадмий – мягкий пластичный металл серебристо-белого цвета с низкой температурой плавления и коррозионной стойкостью, близкой к цинку. Покрытия из кадмия обладают высокой коррозионной стойкостью на воздухе и в некоторых газовых и жидких средах. По сравнению с цинковыми кадмиевые электролитические покрытия более плотные, и для защиты стали и других металлов от коррозии требуется в 2 – 3 раза тоньше слой кадмия, чем цинка. Кадмий широко применяется для антикоррозионных покрытий деталей точных приборов (болтов, пружин и др.), работающих в агрессивных средах. Пары кадмия ядовиты, максимально допустимая концентрация кадмия в атмосфере составляет 1мг/м^3 . Кадмий применяется в качестве легирующего элемента в сплавах других металлов.

Цинк и кадмий широко используются в производстве гальванических элементов и аккумуляторов.

Глава 2. ПОЛИМЕРЫ И МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

2.1. Термопластичные полимеры

По отношению к нагреву полимеры подразделяются на термопластичные и термореактивные. Термопластичные полимеры при нагревании переходят из твердого агрегатного состояния в вязкотекучее, а при охлаждении вновь затвердевают. Это свойство термопластичные полимеры сохраняют при многократных нагревах.

К термопластичным полимерам относятся полиолефины, полиамиды, поливинилхлорид, фторопласты, полиуретаны.

Термопласты имеют невысокую температуру перехода в вязкотекучее состояние, хорошо перерабатываются литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяются термопласты в качестве диэлектриков (изоляторов), химически стойких конструкционных материалов, прозрач-

ных оптических стекол, пленок, волокон, а также в качестве связующих для получения композиционных материалов, лаков, клеев и др.

Полиэтилен, молекула которого состоит из многократно повторяющегося звена $[-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -]_n$, представляет собой продукт полимеризации этилена. Это относительно твердый и упругий материал, без запаха, белый в толстом слое и прозрачный в тонком. Для получения окрашенных полимеров применяют органические красители (минеральные пигменты и спиртовые растворы органических красок). Полиэтилен различается по плотности, которая зависит от технологии получения. Различают полиэтилен низкого (ПЭНД), высокого (ПЭВД) и среднего (ПЭСД) давления. Чем выше давление, при котором получают полиэтилен, тем выше его плотность, степень кристалличности, прочность, твердость и теплостойкость материала. Свойства полиэтилена и других термопластов представлены в таблице 15.

Полиэтилен легко перерабатывается различными методами, сваривается при изготовлении изделий сложной конфигурации, устойчив к ударным и вибрационным нагрузкам, агрессивным средам и воздействию радиации, обладает высокой морозостойкостью (до -70°C). Однако в присутствии сильных окислителей (растворы азотной кислоты и перекиси) материалы на основе полиэтилена разрушаются. Полиэтилен также склонен к старению при воздействии на него света. Для подавления необратимых процессов старения полиэтилена в него (как и в другие термопласты) вводят специальные добавки – стабилизаторы: антиоксиданты, антиозонаты, светостабилизаторы, антипирены (для снижения горючести), антистатики, а также антимикробные компоненты (ртуть, мышьяк, соединения олова и др.) и пластификаторы. Так, введение в полиэтилен в процессе его синтеза и переработки 2...3% сажи и 0,1% аминов позволяет замедлить процесс его старения в 30 раз.

Полиэтилен применяют для изготовления труб, литых и прессованных несилевых деталей, пленок, изоляции высокочастотных проводов и кабелей, радиотехнических деталей, а также в качестве защитных покрытий металлов от коррозии.

Полипропилен $[-\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3) -]_n$ – жесткий нетоксичный полимер, допускающий более высокую температуру эксплуатации, чем полиэтилен. Полипропилен негигроскопичен, химически стоек к действию кислот щелочей, при 80°C растворим в ксилоле и толуоле, хорошо формуются в изделия и сваривается контактной сваркой. Полипропилен имеет невысокую

морозостойкость до $-10... -20^{\circ}\text{C}$ и склонен к старению при воздействии света. Выпускается в виде гранул и порошков. Полипропилен применяется для антикоррозионной футеровки резервуаров, арматуры, изготовления деталей электроаппаратуры, волокон и пленок.

Поливинилхлорид $[-\text{CH}_2 - \text{CHCl} -]_n$ – аморфный полимер белого или светло-желтого цвета, обладает высокими диэлектрическими свойствами, атмосферной и химической стойкостью, стоек к маслам и бензину, негорюч. Непластифицированный поливинилхлорид называется винипластом. Винипласт имеет высокую механическую прочность и обладает хорошими электроизоляционными свойствами, легко формуются, хорошо поддается механической обработке, склеивается и сваривается, хрупок при отрицательных температурах (рабочий диапазон температур от 0 до 70°C).

Винипласт хорошо приклеивается к металлу, древесине, бетону. Листовой винипласт применяется в качестве футеровочного материала, в том числе и для облицовки гальванических ванн. Из винипласта изготавливают различную фурнитуру – краны, клапаны, задвижки, детали насосов, вентиляторов и др.

Назначение материала указывается в его марке: Т – термостабилизированный, М,Ж – для изготовления соответственно мягких и жестких материалов, П – пастообразующий.

При введении в поливинилхлорид пластификаторов (дибутилфталата, трикрезилфосфата) в количестве 1:3 получается пластикат, который обладает высокой морозостойкостью до -70% . Пластикат применяется для изготовления изоляции проводов, изолянты, а также для изготовления труб и различных покрытий.

Политетрафторэтилен $[-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 -]_n$ (фторопласт-4, фторлон-4) является фторпроизводным продуктом этилена и представляет собой мелкий порошок белого цвета. В вязкотекучее состояние переходит при температуре 423°C , а при 420°C сильно окисляется, поэтому литьем под давлением и экструзией его не перерабатывают. Кроме того, при этих температурах выделяется токсичный фтор. Фторопласт-4 прессуют при температуре $360-380^{\circ}\text{C}$. Материал обладает высокой термостойкостью, стоек к действию кислот, щелочей, окислителей, растворителей, негигроскопичен. Разрушается при действии расплавленных щелочных металлов, элементарного фтора, набухает во фреонах. Фторопласт-4 имеет очень низкий коэффициент трения, сохраняет упругие свойства до -269°C .

Фторопласт-4 применяется для изготовления уплотнительных элементов, мембран, фурнитуры, деталей антифрикционного назначения, а также, благодаря высоким диэлектрическим свойствам, для изготовления высокочастотной аппаратуры, коаксиальных кабелей, конденсаторов и др. Из фторопласта-4 изготавливают очень тонкие изоляционные пленки толщиной до $0,005$ мм. Для лаковых покрытий применяют фторопласт – 42Л.

Политрифторхлорэтилен $[-\text{CF}_2 - \text{CFCl} -]_n$ (фторопласт-3, фторлон-3) – полимер стойкий к действию кислот, щелочей, окислителей, растворителей, диапазон рабочих температур от -195°C до $+125^{\circ}\text{C}$. При высокой температуре растворяется в бензине, толуоле, ксилоле. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяют для изготовления труб, шлангов, фурнитуры, защитных покрытий, низкочастотных диэлектриков, пленок, а также для термо- и влагостойких покрытий.

Полистирол $[-\text{CH}_2 - \text{CHC}_6\text{H}_5 -]_n$ – твердый, жесткий, прозрачный полимер, обладает хорошими диэлектрическими свойствами, химически стоек к кислотам и щелочам, масло- и бензостоек, хорошо склеивается и окрашивается. Имеет низкую теплостойкость и ударную вязкость. Применяется для изготовления химически стойких сосудов, деталей электротехнического назначения. Полистирол, полученный эмульсионным методом (ПСЭ - 1), используется для производства пенопластов.

Полиизобутилен $[-\text{C}(\text{CH}_3)_2 - \text{CH}_2 -]_n$ – полимер близкий по эластичности к каучуку, имеет хорошие диэлектрические свойства, стоек к старению, действию кислот, щелочей, окислителей, морозостоек (до -74°C). Применяется в смеси с каучуком для изоляции ультравысокочастотных кабелей и проводов. В смеси с графитом, тальком, асбестом используют как уплотнительный и прокладочный антикоррозионный материал.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) – прозрачный полимер, стойкий к действию разбавленных кислот и щелочей, бензо- и масло- стоек, обладает оптической прозрачностью до 92% , морозостоек (до -60°C), растворяется в эфирах и кетонах, в органических растворителях, ароматических и хлорированных углеводородах. При температуре $-105...+150^{\circ}\text{C}$ пластичен. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией, прессованием. Имеет невысокую твердость. Применяется для изготовления светотехнических изделий, оптических линз, радиодеталей.

Полиамиды $[-\text{NH} - (\text{CH}_2)_m - \text{CO} -]_n$ (капрон, нейлон, анид и др.) – полимер, обладающий хорошими механическими свойствами, высокой износостойкостью.

Полиамиды не набухают в масле и бензине, не растворяются во многих растворителях, стойки к ударным нагрузкам и вибрациям, устойчивы в тропических условиях. Однако имеют некоторую гигроскопичность, не стойки к растворам минеральных кислот и окислителей, при повышенных температурах растворяются в муравьиной и уксусной кислотах, в фенолах. Полиамиды выпускаются в виде гранул белого и светло-желтого цвета размером 2... 5 мм марок ПА6, ПА12, ПА66, ПА610. Перерабатываются литьем под давлением и экструзией. Используются с наполнителями, в качестве которых применяется стекловолокно до 30% или графит до 10%.

Применяются для изготовления зубчатых колес, звездочек цепных передач, колес центробежных насосов, подшипников скольжения, а также нанесения защитных покрытий.

Полиуретаны $[-\text{NH} - \text{CO} - \text{O} -]_n$ – полимеры, обладающие высокой эластичностью, морозостойкостью (до -70°C), износостойкостью, устойчивы к действию разбавленных органических и минеральных кислот и масел. Перерабатываются литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяются для изготовления труб, шлангов, уплотнителей, приготовления клеев для склеивания металлов, стекла, керамики.

Поликарбонаты $[-\text{OROCOR} -]_n$ (дифлон) – полимеры, обладающие высокими механическими свойствами, атмосферо- и термостойки, диапазон рабочих температур от -135 до $+140^\circ\text{C}$, стойки к воздействию разбавленных кислот, щелочей, растворов солей, масло- и бензостойки. Перерабатываются литьем под давлением и экструзией. Применяются для изготовления шестерен, подшипников, деталей машин и аппаратов, деталей криогенной техники.

Полиарелаты $[-\text{OCRCOR} -]_n$ – полимеры, имеющие высокие механические свойства, термостойки, диапазон температур от -100 до $+170^\circ\text{C}$, устойчивы к действию многих химических реагентов и ультрафиолетового излучения, хорошо растворяются в хлороформе, трикрезоле, метиленхлориде, наполненные твердыми смазками (графитом, дисульфидом молибдена и др.) обладают хорошими антифрикционными свойствами. Выпускаются в виде гранул, перерабатываются литьем под давлением.

Применяются полиарилаты для изготовления деталей электротехнического назначения; для нагруженных деталей, работающих в вакууме без смазки; для уплотнительных узлов буровой техники и др.

Полиэтилентерефталат $[-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCOC}_6\text{H}_4\text{OCO} -]_n$ (лавсан) – полимер, обладающий высокими прочностными свойствами, устойчивый к действию ультрафиолетовых и рентгеновских излучений, негорюч, диапазон рабочих температур от -70°C до $+255^\circ\text{C}$, легко металлизирован алюмином, цинком, оловом и другими металлами, в 10 раз прочнее полиэтилена, гигроскопичен, хорошо сваривается ультразвуком и склеивается полиэфирным лаком.

Полиэтилентерефталат применяется для теплостойкой изоляции обмоток трансформаторов, электродвигателей, кабелей, деталей радиоаппаратуры, конденсаторов, а также в качестве основы магнитофонных лент и киноплёнок.

Пентапласт $[-\text{OCH}_2\text{C}(\text{CH}_2\text{Cl})_2\text{CH}_2 -]_n$ – полимер, близкий по прочностным свойствам к поливинилхлориду, обладает высокой водо- и химической стойкостью, удовлетворительными электроизоляционными свойствами, перерабатывается литьем под давлением и экструзией, пневмоформованием, хорошо склеивается и сваривается, применяется для изготовления емкостей, труб, деталей насосов и защитных покрытий.

Полиамиды, полиимиды – полимеры, обладающие высокими механическими свойствами, химической стойкостью, износостойкостью и устойчивой прочностью, хорошие диэлектрики, диапазон рабочих температур от -200 до $+300^\circ\text{C}$.

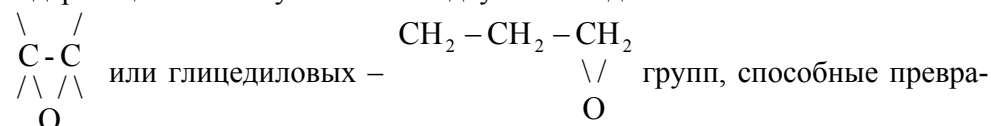
Применяются эти полимеры для изготовления деталей машин, зубчатых колес, подшипников, электротехнических деталей, а также как связующие для получения композиционных материалов.

Полибензимидазолы – полимеры, обладающие высокими механическими и диэлектрическими свойствами, термостойкостью и огнестойкостью, термостойкость может составлять от 300 до 600°C . Полибензимидазолы применяются для получения плёнок, волокон, тканей, используемых для изготовления летних и специальных костюмов, привязных авиаремней, при использовании в качестве связующего стеклопластиков, для изготовления теплозащитных материалов и деталей авиа- и ракетной техники.

2.2. Термореактивные полимеры

Фенолоформальдегидные смолы представляют собой продукты поликонденсации фенолов с формальдегидом. Выпускаются смолы резольного и новолачного типа. Резольные смолы отверждаются путем нагревания, новолачные – при нагреве с отвердителем (уротропином, 6...14% массы смолы). Фенолоформальдегидные смолы обладают высокими атмосферостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, стойки к действию большинства кислот, за исключением концентрированной серной кислоты и кислот-окислителей (азотной, хромовой). Неотвержденные смолы растворимы в фенолах и растворах едких щелочей, а также в органических растворителях.

Эпоксидные смолы – олигомеры или мономеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных



щаться в полимеры пространственного строения. Отверждаются смолы посредством отвердителей, в качестве которых могут использоваться мономерные, олигомерные и полимерные соединения различных классов.

Для холодного отверждения эпоксидных смол применяют в качестве отвердителей алифатические полиамины (полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин, 5...15% массы смолы). Длительность отверждения 24 ч (степень отверждения до 70%). Для повышения степени отверждения желательна термообработка при температуре 60...120°C в течение 12...2 ч. Применяются для отверждения также олигоаминоамиды, но в количестве 50...100% массы смолы.

Для горячего отверждения применяют ароматические ди- и полиамины (15...50% массы смолы). Отверждение проводят при температуре 100...180°C в течение 16...4 ч. Прочность, химическая стойкость и теплоустойчивость эпоксидных компаундов при горячем отверждении выше, чем при холодном. Используют в качестве отвердителей также ангидриды дикарбоновых кислот и синтетические смолы (фенолоформальдегидные, мочевино- и метиламино-формальдегидные и др.).

Эпоксидные смолы обладают высокой адгезией к металлам, стеклу, керамике и другим материалам. Отвержденные смолы имеют хорошие диэлектрические свойства, высокую химическую стойкость, исключая орга-

нические кислоты, кетоны и углеводороды, стойки к воздействию радиоактивного излучения.

Кремнийорганические полимеры отличаются высокой термостойкостью, стойкостью к воздействию агрессивных сред, хорошими диэлектрическими свойствами, однако обладают высокой адгезией. Для повышения адгезионных свойств их модифицируют эпоксидными, фенольными и полиэфирными смолами. Наиболее широкое применение для производства композиционных материалов, лаков, эмалей и клеев из кремнийорганических полимеров получили полиорганосилоксаны.

Механические свойства ряда отвержденных термореактивных смол и кремнийорганических полимеров приведены в табл. 16.

Таблица 16

Свойства отвержденных термореактивных смол

Тип смолы	Марка	Плотность, кг/м ³	Временное сопротивление σ_b , МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Модуль упругости при растяжении, ГПа
Фенолоформальдегидная	Бакелит А	1200	42	2,0	2,10
	ВФТ	1200	50	3,4	2,45
	ФН	1250	51	1,6	3,26
Эпоксифенольная	ЭФ32-301	1200	37	1,5	2,78
Полиэфирная	ПН - 1	1100	42	5,0	2,1
Кремнийорганическая	К - 9	1210	11	0,6	1,72
	К - 93	1210	21	1,0	2,16

2.3. Композиционные материалы с волокнистыми наполнителями

Композиционные материалы (композиты) представляют собой гетерофазные системы, состоящие из двух и более разнородных компонентов. Компонент, непрерывный по всему объему материала, обеспечивающий его монолитность, называется матрицей, или связующим. Компоненты, распределенные в матрице, называются наполнителями. В качестве мат-

рицы могут применяться материалы на полимерной (органической и неорганической), металлической и керамической основе. Характер взаимодействия между материалами матрицы и наполнителя может быть инертным и активным (между материалами возникает химическая связь и эффективное адгезионное взаимодействие).

В зависимости от вида и структуры наполнителя композиты делятся на дисперсно-упрочненные, упрочненные волокнами, слоистые и газонаполненные.

В качестве волокнистых наполнителей используются хлопковые очесы (волокниты), кордовые нити (кордоволокниты), асбестовое волокно (асбоволокниты), стекловолокно (стекловолокниты).

Волокниты – пластмассы на основе хлопковых очесов, пропитанных фенолоформальдегидной смолой. Материалы обладают повышенной, по сравнению с пресс-порошками, ударной вязкостью (до 10 кДж/м²), однако имеют значительно меньшую текучесть, что не позволяет получать тонкостенные детали. Волокниты имеют низкие диэлектрические свойства и неустойчивы к тропическому климату, обладают анизотропией свойств. Применяются они для изготовления изделий общетехнического назначения с повышенной стойкостью к вибрациям и ударным нагрузкам, работающих на изгиб и кручение, например, шкивов ременных передач, фланцев, рукояток, крышек и др.

Асбоволокниты – композиты, содержащие волокнистый минерал – асбест, расщепляющийся на тонкие волокна диаметром до 0,5 мкм. В качестве связующего используются фенолоформальдегидные и кремнийорганические смолы. Они обладают высокой ударной вязкостью и теплостойкостью до 200°C, устойчивы к кислым средам, имеют хорошие фрикционные свойства. Применяются в основном в качестве материалов для тормозных устройств (тормозные колодки, накладки, диски сцепления).

Асбоволокниты на фенолоформальдегидной основе используются для производства высокопрочных теплостойких деталей электротехнического назначения (электрические панели, высоко- и низковольтные коллекторы), а на основе кремнийорганических полимеров – для деталей, длительно работающих при температуре до 200°C (материал К-41-5), и дугогасящих камер контакторов большой мощности, клеммных колодок (КМК-218). Последние материалы тропикоустойчивы. Фаолит – асбоволокнит, полученный пропиткой асбоволокон фенолоформальдегидной

смолой с последующим вальцеванием смеси, используют для изготовления кислотоупорных труб, емкостей.

Стекловолокниты представляют собой пластмассы, содержащие в качестве наполнителя стекловолокна. Применяются стекловолокна диаметром 5...20 мкм высокопрочные с временным сопротивлением 600...3800 МПа и высокомодульные (ВМ-1, ВМП, М-11), имеющие предел прочности σ_b до 3900...4700 МПа и модуль упругости при растяжении до 110 ГПа. Используют волокна, нити, жгуты разной длины, что во многом определяет ударную вязкость стекловолокнита. Чем тоньше волокно, тем меньше его дефектность и выше прочность.

Механические свойства стекловолокнитов зависят от состава, количества и длины стекловолокна, типа связующего, физико-химических процессов, протекающих на границе раздела стекловолокно-связующее, метода переработки. Например, замена стекловолокна из стекла Е на волокно из стекла S (табл. 17) в эпоксидном связующем позволяет повысить прочность композита на 40%.

Таблица 17

Физико-механические свойства стекловолокон

Свойство	Тип волокна			
	Е	С	А	С
Плотность, 10 ³ кг/м ³	2,53	2,46	2,46	2,45
Временное сопротивление, МПа	3700	3100	3100	4300
Модуль упругости при 25°C, ГПа	77	74	74	88
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	10 ¹³	–	10 ⁸	–

Примечание: Е – бесщелочное алюмосиликатное с хорошими диэлектрическими свойствами и теплостойкостью; С – с повышенной химической стойкостью; S – теплостойкое, высокопрочное; А – известково-натриевое или щелочное.

С целью улучшения смачиваемости стекловолокна связующим, снижения напряжений, возникающих на границе раздела, увеличения адгезии между волокном и связующим применяют обработку волокон соединениями, содержащими различные реакционноспособные группы (виниль-

ные, метакрильные, фенильные, амино- и иминогруппы и др.). Уменьшению напряжений в пограничном с волокном слое связующего, снижению усадки и пористости, повышению теплостойкости способствует введение в связующее порошкообразных наполнителей, в частности порошка отвержденного связующего.

Стекловолокниты подразделяют на спутанно-волокнистые, гранулированные и мелкодисперсные пресс-массы.

Спутанно-волокнистые стекловолокниты получают путем пропитки отрезков волокон длиной 40...70 мм с последующей распушкой и сушкой для удаления растворителя (например, АГ-4В). Недостатком этих материалов является неравномерность распределения связующего, большой разброс механических свойств и меньшая текучесть по сравнению с другими стекловолокнитами.

Гранулированные стекловолокниты получают путем пропитки некрученных стеклонитей и стекложгутов с последующей сушкой и резкой на гранулы длиной 5, 10, 20 и 30 мм. Диаметр гранул 0,5...8 мм. Материал обладает хорошими сыпучестью и текучестью, большей стабильностью механических свойств. К этой категории материалов относятся дозирующие стекловолокниты ДСВ.

Мелкодисперсные стекловолокнистые пресс-массы изготавливают путем смешивания измельченных стекловолокон длиной до 1,5 мм со связующим с последующим гранулированием (гранулы размером 3...6 мм). Выпускается также «стеклокрошка» с гранулами длиной до 10...50 мм из пропитанных отходов стеклоткани.

Стекловолокнит, гранулированный с гранулами размером до 6 мм, перерабатывается литьевым прессованием. Мелкодисперсные стекловолокниты можно перерабатывать литьем под давлением, а при изготовлении изделий с металлической арматурой – литьевым прессованием. Стекловолокнит с длиной гранул размером 10 мм перерабатывается литьевым и прямым прессованием, а при длине гранул длиной 20 и 30 мм – только прямым прессованием.

Из стеклопластиков изготавливают корпусные детали, элементы щитков, изоляторов, штепсельных разъемов, обтекателей антенн и т.д. Изделия, эксплуатируемые при температурах от -60 до +200°C, изготавливают на основе анилино-фенолоформальдегидных смол и бесщелочного алюмоборосиликатного стекловолокна, а для температурного диапазона – 60...100°C на основе эпоксидных смол. Стекловолокниты на основе крем-

нийорганических смол эксплуатируются до температуры 400°C, а с использованием кварцевого или кремнеземного волокна кратковременно и при более высоких температурах. Для деталей теплозащитного назначения применяют стекловолокниты на основе кремнеземного волокна и фенолоформальдегидных смол.

На основе стеклянных матов и неопределенных полиэфирных смол получают препреги, которые используют для изготовления крупногабаритных деталей (кузова, лодки, корпусные детали приборов и т.п.). Применение ориентированных волокон позволяет получать стекловолокниты с повышенными механическими свойствами. Например, ориентированный стекловолокнит АГ-4С имеет предел прочности $\sigma_b = 200...400$ МПа, ударную вязкость $KCU = 100$ кДж/м², в то время как АГ-4В на основе путанного волокна $\sigma_b = 80$ МПа, $KCU = 25$ кДж/м².

Органоволокниты представляют собой композиционные материалы на основе полимерных связующих, в которых наполнителем служат волокна органических полимеров (полиамидные, лавсан, нитрон, виол и др.). Для армирования используются также жгуты, ткани и маты из этих волокон. В качестве связующих применяют термореактивные смолы (эпоксидные, фенолоформальдегидные, полиимидные и др.).

Использование полимерных связующих и наполнителей с близкими теплофизическими характеристиками, а также способных к диффузии и химическому взаимодействию между ними, обеспечивают композитам стабильность механических свойств, высокие удельную прочность и ударную вязкость, химическую стойкость, стойкость к термоудару, тропической атмосфере, истиранию. Допускаемая температура эксплуатации большинства органо-волоконитов 100...150°C, а на основе полиимидного связующего и термостойких волокон – до 200...300°C. К недостаткам этих материалов следует отнести невысокую прочность при сжатии и ползучесть.

Для получения высокопрочных композитов применяют волокна на основе ароматических полиамидов (арамидные волокна СВМ, терлон, кевлар), обладающие высокими механическими свойствами, термостабильностью в широком диапазоне температур, хорошими диэлектрическими и усталостными свойствами. По удельной прочности эти волокна уступают лишь борным и углеродным.

Бороволокниты – композиционные материалы на полимерной матрице, наполненные борными волокнами. Они обладают хорошими механи-

ческими свойствами, низкой ползучестью, высокими тепло- и электропроводностью, стойкостью к органическим растворителям, горюче-смазочным материалам, радиоактивному излучению, циклическим знакопеременным нагрузкам.

Борные волокна получают путем химического осаждения бора из главной смеси $BCl_3 + H_2$ на вольфрамовую нить при температуре близкой к $1130^\circ C$. Для повышения жаростойкости волокна покрывают карбидом кремния, также осаждаемым из парогазовой фазы в среде аргона и водорода. Такие волокна называют борсиком. В качестве связующих для боро-волоконитов используют модифицированные эпоксидные смолы и полиамиды. Бороволокнители КМБ-3, КМБ-3к обеспечивают работоспособность изделий при температурах до $100^\circ C$, КМБ-1 и КМБ-1к до $200^\circ C$, а КМБ-2к до $300^\circ C$. С целью повышения технологичности переработки используют композиты, содержащие смесь борного волокна со стекловолокном.

Бороволокнители применяются в авиационной и космической технике для изготовления различных профилей, панелей, деталей компрессоров и др.

Карбоволокнители (углепластики) – композиционные материалы на основе полимерного связующего и углеродных волокон. Углеродные волокна отличаются высокой теплостойкостью, удельной прочностью, химической и атмосферостойкостью, низким коэффициентом термического линейного расширения.

Применяют волокна двух типов: карбонизованные и графитированные. В качестве исходного материала используют вискозные или полиакрилонитрильные (ПАН) волокна, каменные и нефтяные пеки, которые подвергаются специальной термообработке. В процессе высокотемпературной обработки в безокислительной среде происходит переход от органических волокон к углеродным. Карбонизация проводится при температуре $900...2000^\circ C$, а графитизация – при температурах до $3000^\circ C$. Углеродные волокна по механическим свойствам подразделяются на высокомодульные и высокопрочные. В качестве связующих используют термоактивные полимеры: эпоксидные, фенолоформальдегидные смолы, полиамиды и др., а также углеродные матрицы.

Карбоволокнители обладают хорошими механическими свойствами, статической и динамической выносливостью, водо- и химической стойкостью, стойкостью к рентгеновским излучениям, более высокой, чем у стеклопластиков, теплопроводностью.

Применяются карбоволокнители для изготовления конструкционных деталей авиационной и космической техники, антенн, автомобилей, судов, спортивного инвентаря. Основные свойства волоконитов представлены в таблице 18.

2.4. Композиционные материалы со слоистыми наполнителями

Слоистые композиционные материалы имеют листовые наполнители (ткани, бумагу, шпон и т.д.), пропитанные и скрепленные между собой полимерным связующим. Эти материалы обладают анизотропией свойств – имеют высокую прочность при растяжении вдоль слоев армирующего наполнителя и низкую в перпендикулярном направлении. Этот недостаток отсутствует у объемно-тканых или трехмерно-армированных материалов.

В качестве волокнистых армирующих элементов используют ткани на основе высокопрочных волокон различной природы: хлопчатобумажные, стеклоасботкани, органоткани, углеткани, органостеклоткани, бороорганостеклоткани. Ткани различаются между собой по соотношению волокон в основе и утке, по типу переплетения, что сказывается на их механических свойствах. Выпускаются слоистые композиты в виде листов, труб, заготовок.

Гетинакс – пластик на основе модифицированных фенольных, аминокформальдегидных и карбамидных смол и различных сортов бумаги. По назначению гетинакс подразделяется на декоративный и электротехнический. Декоративный гетинакс стоек к воздействию химикатов, пищевых продуктов, растворителей, может иметь любой цвет и рисунок. Применяется он для облицовки технической и бытовой мебели, внутренней облицовки салонов самолетов, кают судов, железнодорожных вагонов и т.д. Электротехнический гетинакс используется для изготовления панелей, приборных щитков и других целей. Для печатных радиотехнических изделий применяют гетинакс фольгированный (ГФ). В качестве фольги используется тонкий слой меди. Выпускается гетинакс, фольгированный с одной (ГФ-1) и с двух сторон (ГФ-2), нормальной и повышенной прочности и нагревостойкости, на что в марке указывает буква Н или П, стоящая после цифры, например ГФ-1П.

Основные свойства гетинаксов приведены в таблице 19.

Таблица 19

Свойства гетинаксов

Свойства гетинаксов		
Органогетинакс		Гетинакс
Бумага на ос-	Бумага на основе	Бумага цел-

Свойство	нове полами- да, связующее – полиимид	поливинилового спирта, связую- щее – феноло- формальдегидная смола	люлозная, свя- зующее – фе- нолформаль- дегидная смола
Плотность, 10^3 кг/м^3	1,30	1,20...1,25	1,25...1,40
Временное сопро- тивление, МПа	155	70	70...80
Предел прочности при изгибе, МПа	170	135	80...100
Ударная вязкость, кДж/м^2	19	16	13
Электрическая прочность, кВ/мм	25...30	–	16
Диэлектрическая проницаемость при частоте 1 МГц	2,8	–	6,0
Тангенс угла ди- электрических потерь при частоте 1 МГц	0,015	–	0,05...0,1

Органогетинакс изготавливают на основе бумаги из синтетических волокон, чаще всего из ароматических полиамидов и поливинилового спирта. В качестве связующих применяют полиимиды, фенолоформальдегидные, эпоксидные и другие смолы. По сравнению с гетинаксами они имеют более высокую стойкость в агрессивных средах и стабильность механических и диэлектрических свойств при повышенных температурах.

Текстолит – слоистый пластик на основе полимерных связующих и хлопчатобумажных тканей. Материал обладает высокими механическими свойствами, стойкостью к вибрациям. В зависимости от основного назначения текстолиты подразделяются на конструкционные, электротехнические, графитированные, гибкие прокладочные.

Конструкционный текстолит марок ПТК, ПТ, ПТМ используется для изготовления зубчатых колес, подшипников скольжения, работающих при температурах в зоне трения не выше 90°C , в прокатных станах, турбинах, насосах и др. Выпускается в виде листов толщиной от 0,5 до 8 мм и плит

толщиной от 8 до 13 мм. Диэлектрическая прочность в трансформаторном масле до 8 кВ/мм.

Электротехнический текстолит используется в качестве электроизоляционного материала в средах с рабочей температурой от -65 до +165°C и влажностью до 65%. Выпускается он в виде листов толщиной от 0,5 до 50 мм марок А, Б, Г, ВЧ. Марка А – с повышенными электротехническими свойствами для работы в трансформаторном масле и на воздухе при промышленной частоте 50 Гц. Марка Б – с повышенными электротехническими свойствами для работы на воздухе при частоте 50 Гц. Марка Г – по свойствам и области использования аналогична марке А, но с расширенными допусками по короблению и толщине. Марка ВЧ – для работы на воздухе при высоких частотах (до 10⁶ Гц).

Графитированный текстолит применяется для изготовления подшипников прокатного оборудования и выпускается в виде листов толщиной 1...50 мм, длиной до 1400 мм и шириной до 100 мм.

Гибкий прокладочный текстолит используют для производства уплотняющих и изолирующих прокладок в узлах машин, подвергаемых воздействию масел, керосина, бензина. Выпускают в виде листов толщиной 0,2...3,0 мм.

В асботекстолитах (табл. 20) и асбогетинаксах в качестве наполнителей содержится соответственно асботкань или асбобумага (до 60%), а в качестве связующего – фенолоформальдегидные и меламиноформальдегидные смолы, кремнийорганические полимеры, которые определяют допустимую температуру эксплуатации. Материалы на меламиноформальдегидной основе допускают работу изделий при температурах до 200°C, на фенолоформальдегидной до 250°C и на кремнийорганической до 300°C при длительной эксплуатации. Кратковременно температура может достигать 3000°C. Применяют асботекстолиты в основном для изготовления тормозных колодок, тормозных накладок, в качестве теплоизоляционного и теплозащитного материалов.

Таблица 20

Свойства асботекстолитов

Связующее	Плотность, 10 ³ кг/м ³	Временное сопротивление	Предел прочности		Теплостойкость по Мар-
			вдоль основы, МПа	при сжатии	

		ление, МПа	тии	тическом изгибе	тенсу, °С
Фенолоформальдегидная смола	1,40...1,80	40...150	140...150	70...245	200...250
Меламиноформальдегидная смола	1,75...1,85	45...85	190...350	115...170	100...200
Кремнийорганическая смола	1,70...1,80	40...80	230...250	80...90	250...300

Стеклотекстолиты изготавливают на основе стеклотканей и различных полимерных связующих (табл. 21). На фенолоформальдегидных смолах (КАСТ, КАСТ-В, КАСТ-Р) они более теплостойки, чем текстолит ПТК, но хуже по вибростойкости. На кремнийорганических смолах (СТК, СК-9Ф, СК-9А) имеют высокую тепло- и морозостойкость, обладают высокой химической стойкостью, не вызывают коррозии контактирующего с ним металла. Применяют стеклотекстолиты в основном для крупногабаритных изделий радиотехнического назначения, а также изготовления стеклотекстолита фольгированного марок СФ-1, СФ-2 при производстве печатных плат.

Таблица 21

Свойства стеклотекстолитов

Связующее	Плотность, 10 ³ кг/м ³	Временное сопротивление, МПа	Предел прочности, МПа		Ударная вязкость, кДж/м ²
			при статическом изгибе	при сжатии	
Фенолоформальдегидная смола	1,5...1,8	300...500	200...600	100...300	50...200
Эпоксидная смола	1,6...1,9	400...600	400...800	200...400	100...300
Полиэфирная смола	1,4...1,7	140...450	150...500	100...300	70...300
Кремнийоргани-					

ническая смо- ла	1,6...1,9	150...350	150...500	100...350	35...250
Полиимиды	1,7...1,9	300...500	350...680	300...500	100...300

Высокой ударной вязкостью КСУ до 600 кДж/м², временным сопротивлением до 1000 МПа обладают стекловолокнистые анизотропные материалы, армированные стеклошпоном (СВАМ). По удельной жесткости эти материалы не уступают металлам, а по удельной прочности в 2-3 раза превосходят их.

2.5. Композиционные материалы с газообразными наполнителями

Газонаполненные материалы представляют собой структуру, состоящую из твердой и газообразной фаз. Их подразделяют на две группы: пенопласты и поропласты. Пенопласты имеют ячеистую структуру, поры которой изолированы друг от друга полимерной прослойкой. Поропласты имеют открытопористую систему и присутствующие в них газообразные или жидкие продукты сообщаются друг с другом и окружающей средой.

Пенопласты получают на основе термопластичных полимеров (полистирола, поливинилхлорида, полиуретана) и термореактивных смол (фенолоформальдегидных, фенилокаучуковых, кремнийорганических, эпоксидных, карбамидных). Для получения пористой структуры в большинстве случаев в полимерное связующее вводят газообразующие компоненты, называемые порофорами (углекислый газ, азот, воздух и инертные газы).

Однако имеются и самовспенивающиеся материалы, например пенополиэфируретановые, пенополиэпоксидные. Пенопласты на основе термопластичных смол более технологичны и эластичны, однако температурный диапазон их эксплуатации от -60 до +60°C.

Пенопласты на основе полистирола изготавливаются в виде гладких или профилированных пластин, полуоболочек или профильных изделий. Широкое применение они получили в качестве диэлектриков и упаковочных материалов при транспортировке различных стеклянных и других хрупких изделий. Такой пенопласт получают путем введения в полистирол порообразователя и нагревом массы до температуры 90...105°C. При этом объем первоначальных гранул увеличивается в 20-80 раз. После выдержки, необходимой для выравнивания давления, полученный полуфаб-

рикат загружают в пресс-форму и нагревают до температуры 100...110°C, пока не заполнится вся форма. Плотность полученного материала 10...30 кг/м³, поры закрытые, 98% объема составляет воздух. Пенополистирол радиопрозрачен. По такой технологии могут заполняться различные полости между металлическими, угле- или стеклопластиковыми оболочками с целью звуко- и теплоизоляции, увеличения плавучести и т.д. Недостатками материала являются растворимость в бензине, бензоле и горючесть.

Пенополивинилхлорид не поддерживает горения, но обладает более низкими диэлектрическими свойствами по сравнению с пенополистиролом. Применяется он в основном в качестве легкого заполнителя для тепло- и звукоизоляции.

Пенополиуретановые материалы получают из жидких компонентов – смеси полиспиртов и диизоцианатов. В зависимости от технологии можно получить мягкие, полужесткие и жесткие материалы с более высокой, чем у полистирольных пенопластов, термостойкостью.

Пенопласты на основе термореактивных смол допускают более высокие температуры эксплуатации, но они более хрупки. Поэтому в термореактивные смолы необходимо вводить пластификаторы или совмещать их с каучуками либо термопластичными смолами. Пенопласты на основе фенолоформальдегидных и фенолокаучуковых смол допускают работу при температурах до 120...150°C, а на основе полисилоксановых смол – до 300°C.

Самовспенивающиеся пенопласты применяются для заполнения труднодоступных мест и полостей сложной конфигурации.

Пенопласты используют для тепло- и звукоизоляции кабин, теплоизоляции рефрижераторов, труб, приборов и так далее, для повышения плавучести, удельной прочности, жесткости и вибростойкости силовых элементов конструкций. Объемная плотность пенопластов находится в пределах от 10 до 300 кг/м³, теплопроводность – от 0,002 до 0,06 Вт/(м·К).

Свойства некоторых газонаполненных материалов на основе пластмасс приведены в табл. 22.

Таблица 22

Физико-механические свойства газонаполненных пластмасс

Полимерная основа	Марка	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент теплопроводности, 10 ⁻²	Рабочий диапазон температур, °С
Полистирол	ПС-1	100...200	1,0...2,7	3,9...5,4	-60...+60
Поливинилхлорид	ПХВ-1	60...130	0,2...1,0	2,6...4,4	То же
	ПХВ-2	130...220	0,8...1,5	5,2...5,6	То же

Окончание табл. 22

Полимерная основа	Марка	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент теплопроводности, 10 ⁻²	Рабочий диапазон температур, °С
Полиуретан	ПУ-101Т	200...250	3,3...3,4	4,0...4,8	-60...+200
	ППУ-304Н	30...50	0,2...0,5	2,3...3,5	-60...+100
Фенилокаучук	ФК-20	50...200	0,2...3,0	4,2...6,2	-60...+120
	ФК-20-А-20	140...200	0,8...2,3	6,5...7,5	-60...+200
Полисилоксан	К-20	250...300	1,4...1,9	4,8...5,1	-60...+140
Эпоксидная смола	ПЭ-2	100...300	0,7...5,0	3,0...0,7	-60...+140
	ПЭ-7	20...50	0,1...0,2	3,0...3,5	-60...+100

Поропласты получают в основном путем механического вспенивания композиций, например сжатым воздухом или с использованием специальных пенообразователей. При затвердевании вспененной массы растворитель, удаляясь в процессе сушки и отверждения из стенок ячеек, разрушает их. Сквозные поры можно получить, наполнив композиции водорастворимыми веществами. После прессования и отверждения изделия его погружают в нагретую воду, в которой вымываются растворимые вещества.

Поропласты применяют для изготовления амортизаторов, мягких сидений, губок, фильтров, в качестве вибродемпфирующих и звукоизоляционных прокладок в вентиляционных установках, глушителях, прокладок в касках и шлемах и т.д. Плотность их составляет 25...500 кг/м³.

Пластмассы, наполненные полыми частицами сферической формы, отличаются от пенопластов, описанных выше, тем, что вместо газовых включений они содержат микросферы диаметром 20...70 мкм, имеющие

толщину стенок 1,5...3,0% от диаметра. Полые сферические наполнители могут быть полимерными, стеклянными, керамическими и металлическими. Чаще применяются сферы из фенолоформальдегидной смолы и стекла.

В качестве связующих для получения пластмасс такого типа могут использоваться любые полимеры, но в большинстве случаев применяют эпоксидные и полиэфирные смолы. В зависимости от соотношения полого наполнителя и связующего получают литые композиции и прессовочные пасты (табл. 23).

Изделия из литых композиций изготавливают путем заливки их в формы или нанесения на поверхность оснастки с последующим отверждением. Из прессовочных паст можно получать изделия в пресс-формах под давлением 0,5...1,5 МПа или без давления, уплотняя шпателем.

Приведенные в таблице 23 материалы атмосферостойкости устойчивы к маслам, топливам и другим нефтепродуктам, не поражаются микроорганизмами, устойчивы к морскому туману, обладают хорошей адгезией к металлам и стеклопластикам. Пластмассы с полыми наполнителями используются при изготовлении различных плавучих средств, сэндвич-конструкций, теплозвукоизоляции.

2.6. Металлополимерные каркасные материалы

Металлополимерные каркасные материалы (МПК) представляют собой композиционные материалы, в которых несущей основой является трехмерная металлическая сетка или один лист (или несколько) конструкционной стали, а межкаркасные полости заполнены полимерной композицией, содержащей различные функциональные компоненты. Так, в судостроении и судоремонте широко используются трехслойные каркасные материалы (рис. 3), содержащие два металлических листа, между которыми размещается один или несколько слоев стеклоткани, пропитанных термореактивным полимером. Наилучшими адгезионными свойствами обладают клеи на основе многокомпонентных полимеров типа «Спрут», «ВАК», «Адгезив» и др.

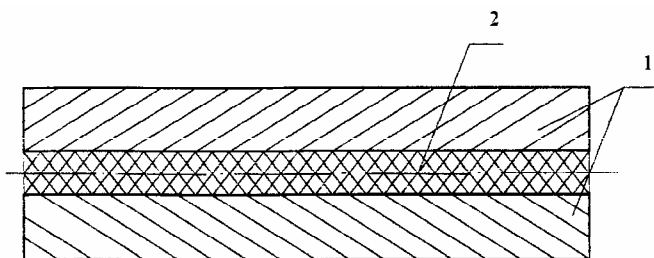


Рис. 3. Трехслойный каркасный материал:
1 - металл; 2 - стеклопластик

В машиностроении нашли применение металлополимерные самосмазывающиеся материалы на основе металлокерамического каркаса и полимерных связующих, содержащих сухие смазки (графит, дисульфид молибдена, йодистый кадмий и др.) (рис. 4), несущей основой является трехмерная металлическая сетка.

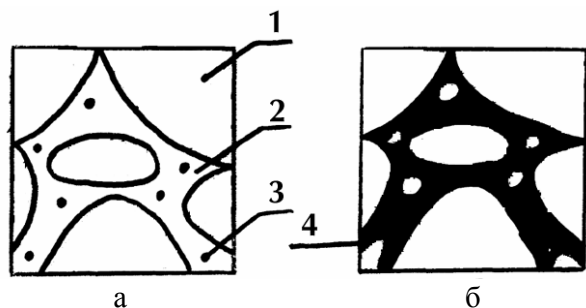


Рис. 4. Структура металлополимерного каркасного материала (а) и материала МПК (б):
1 – частицы металла; 2 – полимер;
3 – твердая смазка; 4 – пиролюзитический графит

Для получения металлокерамического каркаса используют порошки оловянистой бронзы, нержавеющей стали, стеклокерамику. Межкаркасные полости заполняют фторопластом-4 в смеси со свинцом. Материал МПК используется для изготовления подшипников скольжения, сепараторов подшипников качения, поршневых колец и др. Самосмазывающиеся материалы МПК работают до температуры 250°C и имеют коэффициент трения 0,05...0,12.

Для изготовления подшипников большого диаметра и вкладышей самосмазывающиеся материалы МПК припекают к металлической основе (ленте). Такие подшипники работают без смазки при температурах до 280°C, давлении до 300 МПа и имеют высокую износостойкость пар трения при низком коэффициенте трения, что позволяет иметь скорости скольжения до 5...10 м/с.

Зачастую в материалы МПК вводят углеграфитовые и металлизированные углеграфитовые ткани, пропитанные полимерными связующими с твердыми смазками.

Глава 3. РЕЗИНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1. Натуральный и синтетический каучук

Основой всякой резины является натуральный каучук (НК) или синтетический (СК), который обеспечивает пластичность исходной резиновой смеси (сырой резины) и во многом определяет основные физико-механические свойства резинового материала.

Натуральный каучук представляет собой продукт коагуляции млечного сока (латекса) бразильской гевеи. По химическому строению НК является продуктом полимеризации изопрена регулярной структуры с молекулярной массой от 70000 до 2500000. Плотность НК 910...920 кг/м³. С помощью специальных агентов можно перевести каучук в термостабильное состояние.

Натуральный каучук характеризуется высокой морозостойкостью (до -60°C), высоким сопротивлением истиранию, газо- и водонепроницаемостью, хорошими диэлектрическими свойствами и высокой эластичностью.

Синтетический каучук (СК) представляет собой продукт полимеризации однородных или разнородных мономеров углеводородного, нитрильного, сульфидного, силоксанового и других типов. Молекулы синтетических каучуков отличаются большей степенью разветвленности и, благодаря сочетанию различных звеньев, большим разнообразием свойств.

Основными типами синтетических каучуков, имеющих промышленное значение, являются бутадиеновые, бутадиен-стирольные, изопреновые, относящиеся к каучукам общего назначения, а также хлоропреновые, бутадиен-нитрильные, бутилкаучуки, этиленпропиленовые, уретановые,

силоксановые, фторкаучуки, полисульфидные (тиоколы) и другие, относящиеся к каучукам специального назначения.

Бутадиеновый каучук (СКБ) получают путем полимеризации бутадиена в присутствии катализатора – металлического натрия. Он имеет невысокую прочность и морозостойкость до -45°C . Применяется в производстве прокладок, ковриков, различных уплотнителей, эбонитовых изделий, диэлектрических резин. В настоящее время заменяется в основном бутадиен-стирольными и другими каучуками.

Бутадиен-стирольные (СКС) и бутадиен- α -метилстирольные каучуки (СКМС) – продукты совместной полимеризации бутадиена со стиролом и бутадиена с метилстиролом – имеют высокое сопротивление истиранию. По морозостойкости они несколько уступают натуральному каучуку. Более морозостойки каучуки с пониженным содержанием стирола или метилстирола, например СКС-10, СКМС-10, СКС-10-1. Однако большей прочностью отличаются каучуки, содержащие больше стирола, например СКС-30, СКС-50.

Изопреновый каучук (СКИ) – продукт каталитической полимеризации изопрена. Каучук СКИ-3 по структуре и эластичности наиболее близок к натуральному каучуку, но имеет более низкую когезионную прочность. Выпускают изопреновые каучуки для электроизоляционных резин (СКИ-ЗД), вакуумной техники (СКМИ-ЗВ), пищевой промышленности (СКИ-ЗП). Изопреновые каучуки являются каучуками общего назначения и применяются в производстве транспортных лент, амортизаторов, гуммирования аппаратуры и др.

Хлоропеновый каучук (наирит) представляет собой продукт эмульсионной полимеризации хлоропрена, относящийся к числу стереорегулярных кристаллизующихся полимеров. Выпускают хлоропеновые каучуки, модифицированные серой (наирит СР и КР) и не содержащие серы, с примесью меркаптанов (наирит П и НП). Наириты отличаются высокой стойкостью к атмосферным воздействиям и масло-бензостойкостью, стойкостью к спиртам, кетонам, нитросоединениям, соляной и уксусной кислотам, хлористому водороду, хорошо сопротивляются тепловому старению, не поддерживают горения после удаления пламени. Наириты используются для гуммирования химической аппаратуры, изготовления оплеток кабелей, транспортных лент и др. Морозостойкость их до -40°C .

Бутадиен-нитрильные каучуки. (СКН) являются продуктами совместной полимеризации бутадиена с нитрилом акриловой кислоты. СКН от-

носится к некристаллизующимся каучукам. Свойства вулканизатов зависят от количества нитрильных групп. С увеличением количества нитрильных групп повышаются стойкость к действию масел и бензина, тепло-стойкость, однако снижается эластичность и ухудшается морозостойкость. Например, морозостойкость СКН-18 составляет до -60°C , а СКН-40 до -28°C . Повышенной масло-бензостойкостью, тепло- и радиационной стойкостью и более высоким сопротивлением раздиру обладает каучук СКН-50СМ. Каучук СКН применяют для получения транспортных лент, уплотнительных прокладок, манжет и т.п.

Бутилкаучуки (БК) представляют собой кристаллизующиеся каучуки с линейной структурой, получают их путем совместной полимеризации изобутилена с 0,6...3% изопрена. Они имеют высокую химическую стойкость, газо- и влагонепроницаемость, стойки к тепловому и атмосферному старению, к действию озона, кислот и щелочей. Бутилкаучуки применяют для изготовления резинотехнических изделий, от которых требуется повышенная тепло-, паро-, озono- и химическая стойкость.

Этиленпропиленовые каучуки являются некристаллизующимся продуктом совместной полимеризации этилена с пропиленом (СКЭП) и с добавкой диенов (СКЭПТ). Они обладают хорошими электроизоляционными свойствами и износостойкостью, низкой плотностью. Используются в основном для изготовления электроизоляционных изделий, герметиков, транспортных лент и др.

Уретановые каучуки (СКУ) получают взаимодействием диизоцианатов с простыми (СКУ-ПФ, СКУ-ПФЛ) или сложными (СКУ-8, СКУ-7, СКУ-8П) эфирами. СКУ обладают высокой стойкостью к истиранию, набуханию в маслах, различных топливах и растворителях, озono- и светостойкостью, радиационной и вибростойкостью. Применяют СКУ для изготовления резинотехнических изделий, от которых требуется высокая износостойкость и стойкость к воздействию различных жидких сред.

Фторкаучуки (СКФ) – продукт сополимеризации ненасыщенных фторсодержащих углеводородов. СКФ обладают высокой теплостойкостью, стойкостью к маслам, топливам, органическим жидкостям, сильным окислителям, негорючи. Их применяют в производстве уплотнительных и герметизирующих деталей, шлангов, рукавов, изоляции и прочих деталей, эксплуатируемых при температурах до 200°C , а кратковременно и до 315°C .

Полисульфидные каучуки (тиоколы) – продукты взаимодействия галоидопроизводных углеводородов с соединениями щелочных металлов. Вулканизаты тиокола стойки к действию органических растворителей, озона, кислорода, обладают хорошей газонепроницаемостью, однако имеют невысокие механические свойства. Жидкие тиоколы – Т, НВТ, НВБ-1, НВБ-2 – применяют для изготовления герметизирующих паст и замазок.

Силоксановые каучуки представляют собой кремнийорганические полимерные соединения, основная цепь которых состоит из чередующихся атомов кремния и кислорода. Каждый атом кремния связан с двумя органическими радикалами. В зависимости от состава радикалов различают **диметилсилоксановые каучуки** (СКТ), **винилсилоксановые** (СКТВ), **фенилсилоксановые** (СКТФТ), **этилсилоксановые** (СКТЭ), **фенильный каучук** с винильными группами (СКТФВ). В марках низкомолекулярных каучуков добавляется в конце буква Н (например, СКТВН). **Силоксановые каучуки** обладают высокой термостойкостью (до 300°C) и морозостойкостью (до -100°C), хорошими электроизоляционными свойствами, устойчивы к ультрафиолетовому излучению, действию кислорода и озона. Однако они имеют невысокое сопротивление истиранию, нестойки к действию ряда топлив, масел. Применяются эти каучуки в основном для изготовления термостойких уплотнений и других элементов.

3.2. Наполнители, пластификаторы и другие вулканизирующие агенты резины

Наполнители. В производстве резин и резинотехнических изделий применяются порошкообразные и тканевые наполнители. Основные функции наполнителей:

- 1) изменение физико-механических свойств резин и придание им специальных свойств (например, электропроводности, химстойкости и др.);
- 2) облегчение обработки резиновых смесей;
- 3) снижение стоимости изделий.

Наполнители, улучшающие механические свойства резин, называются **активными**, или **усиливающими**. Наполнители, вводимые для снижения стоимости резинотехнических изделий и не оказывающие существенного влияния на свойства резин, называются **неактивными**, или **инертными**.

В качестве активных наполнителей используют углеродистую сажу, диоксид кремния («белая сажа»), силикаты металлов, некоторые органические продукты (синтетические полимеры, лигнин) и др. Например, введение сажи в каучуки СКВ, СКС, СКН увеличивает их временное сопротивление.

К инертным наполнителям относятся в основном различные неорганические продукты природного происхождения: мел, каолин, тальк, регенерат резины и др.

Прочность резиновых смесей зависит от дисперсности и удельной поверхности наполнителя. Активные сажи имеют дисперсность 0,05...0,15 мкм и удельную поверхность более 65 м²/г. Высокодисперсные сажи придают вулканизатам высокую прочность на разрыв и раздир, высокую износостойкость.

«Белую сажу» в качестве наполнителя применяют при получении светлых и цветных резин в пропорции 7/10. Она повышает механические свойства каучуков, их тепло- и огнестойкость. Для термостойких резин используют в качестве наполнителей также фторид и силикат кальция.

В производстве прорезиненных тканевых изделий, таких как шины, транспортерные ленты, приводные ремни, рукава и т.д., в качестве наполнителей используют корд, бельтинг и разнообразные рукавные ткани.

Пластификаторы (мягчители) вводят в каучук для облегчения совмещения его с остальными компонентами резиновой смеси, заполнения ею форм в процессе формования изделий, повышения адгезии каучука к тканям и пластичности. Наряду со своей основной функцией ряд мягчителей придает резинам специфические свойства: высокую морозостойкость, эластичность, низкую горючесть, газонепроницаемость, пониженную окисляемость. Содержание пластификаторов в резиновых смесях составляет от 8 до 30% от общей массы. Пластификаторы должны быть совместимы с каучуками, стойки при температурах переработки и вулканизации, быть нетоксичными. В качестве пластификаторов используются парафины, жирные кислоты, битумы, дибутилфталат, растительные масла, различные синтетические продукты.

Для увеличения долговечности резинотехнических изделий вводятся противостарители, т.е. органические вещества, повышающие стойкость резин к воздействию кислорода воздуха и теплоты, возникающей в результате гистерезисных потерь при деформировании резин. В качестве таковых используются различные фенолы, первичные ароматические

амины, ароматические диамины, в частности неозон Д, параоксинеозон, альдоль, воск и др.

Кроме антиоксидантов в резины вводят антирады, одоранты, красители и другие специальные добавки.

Основным процессом переработки каучука в резину является **вулканизация** – сшивка макромолекул каучука при нагреве под действием специальных вулканизующих агентов. Продукт вулканизации принимает пространственно-сшитую структуру, от густоты сетки которой зависят физико-механические свойства резины.

В качестве вулканизующего агента наиболее широкое применение нашла сера. Обычно используется сера дисперсностью 0,35...0,40 мкм. При содержании серы до 5% образуются редкосетчатые резины – мягкие, высокоэластичные. С увеличением содержания серы сетчатая структура становится более густой, резина – более твердой, и при максимально возможном насыщении каучука серой (32%) образуется твердый материал, называемый **эбонитом**.

Вещества, ускоряющие реакцию взаимодействия каучука с серой, носят название **ускорителей**. Наиболее распространенные ускорители – тиурам, каптакс, алтакс, гуанидины, сульфенамидные соединения. Для повышения эффективности их действия вводят дополнительно активаторы – оксиды металлов, в частности цинка и магния.

При вулканизации каучуков с низкой степенью непредельности, например бутилкаучуков, применяют в качестве вулканизующих агентов фенолоформальдегидные смолы. Перекись бензоила используется для вулканизации силоксановых каучуков и фторкаучуков. Вулканизация этиленпропиленовых и силоксановых каучуков осуществляется перекисью дикумила.

3.3. Резины общего и специального назначения

Резины подразделяются на две группы: общего и специального назначения. К резинам общего назначения относятся резины на основе неполярных каучуков, натурального каучука, бутадиеновых, бутадиен-стирольных, изопреновых каучуков и их комбинаций. Резины общего назначения могут работать в атмосферных условиях, в слабых растворах кислот и щелочей.

Рабочий диапазон температур составляет от -35...-50° до 130...250°С в за-

висимости от типа каучука. Выпускаются они в виде листов, пластин, рулонов, шнуров и др. Применяются для изготовления шин, приводных ремней, рукавов, транспортных лент, кабельной изоляции и других резинотехнических изделий.

Резины специального назначения выпускаются с учетом специфики воздействия окружающей среды и условий эксплуатации и включают резины теплостойкие, маслобензостойкие, морозостойкие, стойкие к воздействию агрессивных сред, износостойкие, электротехнические, радиационностойкие и др.

Теплостойкие резины получают на основе полисилоксановых каучуков (СКТ), а также каучуков, содержащих винильные группы (СКТВ), фенильные и винильные (СКТФВ). Введение винильных групп повышает устойчивость к тепловому старению до 300°С, а фенильных – повышает морозостойкость до -100°С и сопротивляемость воздействию радиации.

Маслобензостойкие резины изготавливаются на основе хлоропреновых (наирит), изопреновых (СКП), полисульфидных (тиокол), уретановых (СКУ) каучуков. Резины работоспособны при длительном контакте с нефтепродуктами и растительными маслами, обладают хорошей износостойкостью.

Морозостойкие резины – резины на основе каучуков с низкой температурой стеклования, в частности на основе бутадиеновых (СКВ), бутадиен-нитрильных (СКН), силоксановых (СКТ), бутадиен-стирольных (СКС).

Стойкими к воздействию агрессивных сред (кислот и щелочей) являются резины на основе бутилкаучука, бутадиен-нитрильных, кремний-органических, фторсодержащих, хлоропреновых, акриловых каучуков.

Свето-озоностойкие резины – резины на основе фторсодержащих (СКФ), этиленпропиленовых (СКЭП) и бутилкаучуков. Применяют их для изготовления уплотнительных элементов, диафрагм, гибких шлангов, в шинном производстве и др.

Износостойкие резины получают на основе полиуретановых каучуков (СКУ). Они обладают высокой маслостойкостью, стойки к кислороду и озону, к воздействию радиации. Применяют такие резины в уплотнительных элементах, в автомобильной промышленности, для изготовления прозрачных шлангов, элементов машин, испытывающих воздействие абразивов и т.д.

Электротехнические резины включают электроизоляционные, электропроводящие и магнитные резины. Электроизоляционные резины полу-

чают на основе неполярных каучуков НК, СКВ, СКС, СКТ и бутилкаучуков. Для них характерны высокое удельное сопротивление $\rho_v = 10^{13} \dots 10^{17}$ Ом·м, относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2,4 \dots 4,0$, тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta = 0,005 \dots 0,010$. Эти резины идут на изготовление кабельной изоляции, специальных перчаток и обуви.

Электропроводящие резины получают на основе натурального каучука, СКН, наирита путем наполнения их электропроводящими наполнителями, в частности углеродной сажей, графитом и др. Для этих материалов характерно значение $\rho_v = 10^4 \dots 10^6$ Ом·м. Применяют их в основном для получения токопроводящих покрытий.

При наполнении аналогичных каучуков магнитными дисперсными наполнителями получают **магнитные резины**.

Радиационные резины на основе фторсодержащих, бутадиеннитрильных, бутадиен-стирольных каучуков, наполненные оксидами свинца и бария, применяют с рентгенозащитной целью, для изготовления деталей рентгеновской аппаратуры, защитной одежды для работы с радиоактивными изотопами и др.

В промышленности используются также вакуумные, вибро-, водо-, огнестойкие, медицинские, пищевые и другие специальные резины.

Твердая резина (эбонит) обладает высокой химической стойкостью, твердостью, высокими диэлектрическими свойствами, хорошо обрабатывается резанием, полируется. Для производства эбонита применяют любые каучуки, однако эбониты на основе синтетических каучуков более теплостойки, чем на основе натуральных каучуков. При производстве эбонитов в композиции, кроме каучуков и серы, вводят различные ингредиенты: ускорители, мягчители, наполнители и другие, которые позволяют увеличить скорость вулканизации, уменьшить усадку изделий, повысить твердость и водостойкость.

Эбонитовые изделия подразделяются на поделочные и формовочные. Поделочные эбониты выпускают в виде стержней диаметром от 5 до 75 мм и длиной до 500 мм, а также пластин толщиной от 4 до 30 мм, длиной 1000 мм и шириной до 500 мм и в виде трубок для производства деталей радиоаппаратуры, медицинского и другого оборудования в качестве изоляционного материала. Эбонит имеет следующие электрические характеристики: удельное поверхностное и объемное электрическое сопротивление не менее 10^{13} Ом·м, тангенс угла диэлектрических потерь не более

0,02, электрическая прочность 25...60 кВ/мм. Формовочные эбониты изготавливают в виде аккумуляторных баков, крышек, пробок, медицинских воронок и других деталей.

3.4. Герметики

Герметиками называют материалы, используемые для уплотнения неподвижных соединений, эксплуатируемых в условиях воздействия высоких и низких температур, вакуума, различных агрессивных сред и излучений, с целью предотвращения утечки рабочей среды или проникновения внешней среды в соединения. Герметики широко используются в машино-, автомобиле- и судостроении для уплотнения сварных швов кузовов, различных емкостей, защиты днищ и крыльев машин от коррозии, уплотнения болтовых, заклепочных, фланцевых соединений и др. Герметики также применяются в радиотехнической промышленности для герметизации электронных блоков, работающих на открытом воздухе или в агрессивных средах. Также большое количество герметиков используется в строительстве для уплотнения стыков стальных панелей, оконных и дверных проемов, защиты сварных соединений и др.

Для выполнения своих функций герметики должны обладать жизнеспособностью, липкостью, пластичностью, хорошей адгезией и другими свойствами. Основой для герметиков в основном являются синтетические каучуки и олигомеры, а также полимеры, битумы и другие вещества, обладающие низкой эластичностью.

В зависимости от основы герметики подразделяются на вулканизирующиеся, невысыхающие и высыхающие.

Невысыхающие герметики представляют собой термопластичные материалы, которые при определенной температуре способны переходить в вязкотекучее состояние, а при охлаждении – вновь в пластическое или пластоэластическое состояние. Основой их являются каучуки с низкой непредельностью (содержащие небольшое количество двойных связей) или полностью насыщенные каучуки – полиизобутиленовый, этиленпропиленовый, бутилкаучук. Герметики этого типа не требуют вулканизации, обладают высокой стойкостью к воздействиям атмосферных факторов, озона, кислот и щелочей, окислителей, обладают хорошими диэлектрическими свойствами, газо- и водонепроницаемостью. Невысыхающие герметики могут выпускаться отформованными в виде жгутов или полос

различного сечения и длины, а также в виде текучей или пастообразной массы. Ими возможна герметизация стыков любой конфигурации. Невысыхающие герметики широко применяются для уплотнения разъемных и неразъемных соединений, а также уплотнения различного рода стыков и швов.

Для герметизации различных соединений (разъемных), емкостей, приборов и аппаратов используются герметики 51-Г-3, 51-Г-4. В автомобилестроении для герметизации отверстий и щелей на стыках металлических участков кузовов применяют герметики 51-Г-7, УА-01; для уплотнения стекол – У-20А, У-22, 51-Г-6. Герметик У-20А используют для герметизации заклепочных, винтовых и болтовых соединений. Защитой паяных соединений от коррозии служит герметик 51-Г-4м. В строительстве для уплотнения стыков наружных стеновых панелей и других целей применяются герметики УМС-50, бутэпрол и др. Диапазон рабочих температур герметиков 51-Г-3, 51-Г-4, 51-Г-6, 51-Г-7 от -50 до 100°С, остальных - до 70°С.

Высыхающие герметики также относятся к термопластичным материалам и представляют собой растворы резиновых смесей в органических растворителях. После нанесения на поверхность и улетучивания растворителя они становятся эластичными. Основой этих герметиков являются высокомолекулярные вулканизирующиеся каучуки – бутадиен-стирольные, бутадиен-нитрильные, хлоропреновые и другие, а также невулканизирующиеся каучуки – изопрен-стирольные, уретановые и другие в сочетании с различными смолами. Высыхающие герметики выпускаются однокомпонентными, при загустевании их можно доводить до нужной вязкости растворителями. Наносятся высыхающие герметики кистью или шпателем. Шпателем наносят за один прием слой толщиной не более 3 мм. Более толстые покрытия наносят в несколько слоев с промежуточной сушкой. При высыхании эти герметики дают значительную усадку. Высыхающие герметики применяются для поверхностной и, ограниченно, для внутрিশовной герметизации.

Вулканизирующиеся (отверждающиеся) герметики представляют собой жидкие или вязкотекучие пасты, переходящие при воздействии теплоты и специальных агентов в процессе вулканизации (отверждения) в эластичные газо- и гидронепроницаемые материалы, хорошо уплотняющие соединения. Эти герметики представляют собой термореактивные материалы, основой которых являются низкомолекулярные каучуки или

олигомеры с реакционноспособными группами (ОН, СООН, SH, Cl, NCO и др.), полисульфидные низкомолекулярные каучуки (жидкие тиоколы), силоксановые, фторсилоксановые, олигомерные, углеводородные каучуки и др. Они обычно состоят из 2-3 компонентов (вулканизирующие агенты, ускорители вулканизации, отвердители), которые поставляются раздельно и смешиваются в определенной пропорции перед применением. При вулканизации усадка практически отсутствует. Вулканизирующиеся герметики применяют главным образом для неразъемных соединений. Вулканизация может производиться путем обработки, нагретым воздухом или нейтральным газом, выдержки в термостате или печи, местного прогрева с помощью токов высокой частоты, направленного лучеоблучения и др.

Наиболее универсальными и распространенными среди вулканизирующихся герметиков являются тиоколовые герметики. Они обладают удовлетворительными физико-механическими, адгезионными и диэлектрическими свойствами, высокой эластичностью, стойки к воздействию атмосферных факторов, озона, радиации, горюче-смазочных материалов, разбавленных кислот и щелочей. Эти герметики обеспечивают эксплуатацию изделия при температурах от -60 до +130°С.

С целью повышения их адгезии к металлам и стеклу на поверхность наносят клеевой подслои. С течением времени происходит старение герметиков, увеличивается их жесткость, прочность при разрыве снижается незначительно.

Из тиоколовых герметиков широкое применение для герметизации металлических, древесных и других соединений, работающих в среде разбавленных кислот и щелочей, жидкого топлива и на воздухе, в контакте с морской водой и при воздействии радиации, получили герметики У-3ОМ и УТ-31 с клеевым подслоем. Для герметизации болтовых, заклепочных и других металлических соединений применяют герметики типа У-3ОМЭС-5, У-3ОМЭС-10, УТ-32 без клеевого подслоя. Для заполнения зазоров и щелей используется герметик УТ-34. В приборостроении применяются герметики типа 51-УТ-36А, 51-УТ-36Б. Для герметизации кабин и топливных отсеков используют герметики ВИТЭФ-2 и ВИТЭТ-1, АН-0,5. Недостатками тиоколовых герметиков является нежелательность использования их в контакте с серебряными, медными и латунными поверхностями, малое сопротивление раздиру и износу.

Процесс герметизации включает следующие технологические операции: приготовление герметика, подготовку поверхностей деталей или уз-

лов, нанесение герметика, его вулканизацию или отверждение (если это необходимо).

Приготовление герметика заключается в смешивании компонентов (для двух- или многокомпонентных герметиков в состоянии поставки) в специальных мешалках или смесителях для получения однородной смеси.

Подготовка поверхности необходима для обеспечения хорошей адгезии герметика к защищаемой поверхности. Поверхности очищают от различных загрязнений, следов коррозии и обезжиривают. Иногда используют оксидирование и фосфатирование поверхностей. Пористые поверхности обрабатывают специальными грунтовками для закупорки пор. При необходимости для увеличения адгезии наносится клеевой подслои (рис. 5).

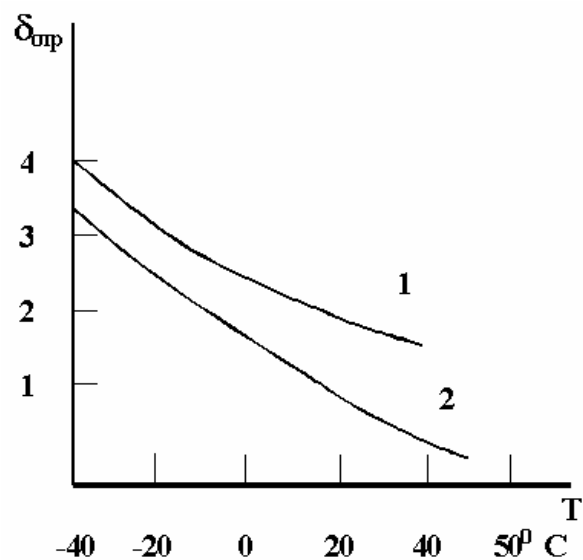


Рис. 5. Влияние температуры на сопротивление отрыву герметика У-30М от стали 45ХГСА:
1 – с подслоем; 2 – без клеевого подслоя

Нанесение герметиков на небольшие поверхности осуществляется с помощью шпателей, шприцов и различных лопаток, пластинок. Для больших поверхностей в массовом производстве используются пневмо- и гидрошприцы и специальные устройства.

Для герметизации металлических соединений, контактирующих с водой и топливом, применяют высыхающий герметик ВГК-18, для защиты металлических поверхностей от разбавленных минеральных кислот и щелочей – 51-Г-10. Защиту от коррозионного и абразивного разрушения обеспечивает герметик 51-Г-14. По теплостойкости герметики подразделяются на три класса: низкой теплостойкости до $50...70^\circ\text{C}$, средней – до $100...150^\circ\text{C}$ и высокой свыше 200°C .

Теплостойкие силоксановые герметики изготавливают на основе жидких силоксановых каучуков. Они обладают высокой эластичностью, свето- и атмосферостойкостью, стойки к ультрафиолетовому излучению, разбавленным кислотам и щелочам, гидрофобны и газонепроницаемы, устойчивы в условиях тропического климата, нетоксичны, теплостойки при температурах до $200...300^\circ\text{C}$, имеют хорошие диэлектрические и технологические свойства. Однако у них невысокая прочность и низкое сопротивление истиранию. В различных отраслях промышленности получили широкое применение такие силоксановые герметики, как ВИКСИНТ. У-1-18 У-5-21, У-2-28, К-18, КЛТ-30, КЛСЕ, ВГО-1, ВГО-2, эластосил 11.01, КАВСЕ-305 и др. Для повышения адгезии силоксановых герметиков к металлическим поверхностям применяют специальные грунты и подслои на основе аminosиланов.

На основе фторсодержащих каучуков изготавливают тепло-топливостойкие герметики типа ВГФ-1, ВГФ-2, 51-Г-15, 51-Г-1, 51-Г-2 с теплостойкостью до 250°C . Для повышения адгезии их применяют с клеевым подслоем. Герметики данного типа используют в основном для поверхностной герметизации.

3.5. Компаунды

Компаундами называются электроизоляционные композиции на основе полимеров, олигомеров или мономеров, предназначенные для заливки или пропитки токопроводящих схем и деталей в электро- и радиоаппаратуре с целью их монолитизации и изоляции.

По назначению компаунды подразделяются на пропиточные, заливочные и обмазочные.

Пропиточные компаунды применяются для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов с целью монолитизации витков обмоток и защиты их от влаги.

Заливочные компаунды используют для заливки полостей в кабельных муфтах и воронках, а также в корпусах электрических аппаратов, например трансформаторов тока, дросселей и т.п. Они позволяют получать изделия в виде малогабаритных монолитных блоков любой конфигурации, не требующих дополнительной механической обработки.

Обмазочные компаунды применяют для обмазки лобовых частей обмоток электрических машин с целью защиты их от влаги, масла и других внешних воздействий.

По природе связующего компаунды можно разбить на две группы: термопластичные и термореактивные. **Термопластичные** компаунды изготавливают на основе битумов, воскообразных диэлектриков (парафина, церезина и др.), термопластичных полимеров (полистирола, полиметилметакрилата).

Термореактивные компаунды выпускаются на основе эпоксидных, полиэфирных, кремнийорганических и других смол.

Для пропитки обмоток электрических машин применяют битумный пропиточный компаунд №225, обладающий низкой плотностью ($920...1100 \text{ кг/м}^3$), морозостойкостью до -25°C , хорошими диэлектрическими свойствами. Удельное объемное сопротивление $\rho_v = 10^{15}...10^{16} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, электрическая прочность $E_{пр} = 18...20 \text{ кВ/мм}$. Температура размягчения этих компаундов составляет $98...102^\circ\text{C}$, усадка – $7...8\%$.

Для заливки концевых воронок и полостей в кабельных соединениях напряжением до 10 кВ применяют битумные заливочные компаунды МБ-70, МБ-90, МБМ-1, МБМ-2. Компаунд МБ-70, имеющий низкую морозостойкость (-15°C), используется для заливки муфт, прокладываемых в земле. Остальные, обладающие морозостойкостью до $-35...-45^\circ\text{C}$, применяют при монтаже наружных установок. По электрическим свойствам они близки к компаунду пропиточному $\rho_v = 10^{15}...10^{16} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $E_{пр} = 15...18 \text{ кВ/мм}$. Усадка при отверждении – $7...9\%$.

Из битумных обмазочных компаундов наиболее широко используется компаунд 4401.

Эпоксидные компаунды отличаются высокими диэлектрическими и физико-механическими свойствами, мало изменяющимися при длительном нагреве до $120...140^\circ\text{C}$. В зависимости от типа отвердителя компаунды могут быть холодного и горячего отверждения. Компаунды холодного отверждения могут применяться при длительном воздействии температур до 120°C , а горячего отверждения – до 160°C длительно и до 200°C крат-

ковременно. Наиболее распространенные компаунды – ЭЗК-6 и ЭПК-1. Плотность компаундов $1220...1230 \text{ кг/м}^3$, удельное объемное сопротивление $\rho_v = 10^{16}...10^{17} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, электрическая прочность $E_{пр} = 16...18 \text{ кВ/мм}$.

Полиэфирные компаунды изготавливают на основе хорошо растворимых в неопределенных соединениях ненасыщенных полиэфирных смол, которые при нагреве в присутствии инициаторов превращаются в трехмерные твердые полимеры. По механическим свойствам полиэфирные компаунды несколько уступают эпоксидным. Допускаемая температура эксплуатации их до 120°C , морозостойкость до -60°C . Выпускаются компаунды КГМС-1, КГМС-2, КП-10, КП-18, имеющие хорошие диэлектрические свойства: $\rho_v = 10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $E_{пр}$ для КГМС-1 составляет 18 кВ/мм , а для КП-10 – 25 кВ/мм . Тангенс угла диэлектрических потерь – $0,04$.

На основе кремнийорганических смол выпускаются компаунды холодного (КЛ, ВИКСИНТ, ВТО) и горячего (К-67) отверждения. Эти компаунды обладают хорошими диэлектрическими свойствами, мало изменяющимися при повышенных температурах и во влажной среде: $\rho_v = 10^{15}...10^{16} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $E_{пр} = 15...32 \text{ кВ/мм}$, $\text{tg}\delta = 0,003...0,04$.

Метакрилатные компаунды выпускают марок МБК-1 (без пластификатора) и МБК-2, МБК-3 (пластифицированные). При отверждении они дают усадку $5...6\%$. Эти компаунды обладают следующими диэлектрическими свойствами: МБК-1 – $\rho_v = 10^{16} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $E_{пр} = 20...28 \text{ кВ/мм}$, $\text{tg}\delta = 0,06$; МБК-2, МБК-3 – $\rho_v = 10^{14}...10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $E_{пр} = 18...21 \text{ кВ/мм}$, $\text{tg}\delta = 0,04...0,09$.

Полиуретановые компаунды, имеют высокие морозостойкость (до -80°C) и эластичность. Однако у них невысокая механическая прочность, более низкие диэлектрические свойства и значительная их зависимость от температуры при нагреве выше 80°C . Компаунды марок КТ-102 и КГ-102 полимеризуются при температуре 60°C и имеют $\rho_v = 10^{13} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $E_{пр} = 17 \text{ кВ/мм}$. Компаунды К-30 и К-31 полимеризуются при температуре 80°C и обладают более низкой электрической прочностью ($E_{пр} = 6,5 \text{ кВ/мм}$). Усадка при отверждении – $7...9\%$.

Из битумных обмазочных компаундов наиболее широко используется компаунд 4401.

Эпоксидные компаунды отличаются высокими диэлектрическими и физико-механическими свойствами, мало изменяющимися при длитель-

ном нагреве до 120...140°C. В зависимости от типа отвердителя компаунды могут быть холодного и горячего отверждения. Компаунды холодного отверждения могут применяться при длительном воздействии температур до 120°C, а горячего отверждения – до 160°C длительно и до 200°C кратковременно. Наиболее распространенные компаунды – ЭЗК-6 и ЭПК-1. Плотность компаундов 1220...1230 кг/м³, удельное, объемное сопротивление $\rho_v = 10^{16} \dots 10^{17}$ Ом·м, электрическая прочность $E_{пр} = 16 \dots 18$ кВ/мм.

Полиэфирные компаунды изготавливают на основе хорошо растворимых в неопределенных соединениях ненасыщенных полиэфирных смол, которые при нагреве в присутствии инициаторов превращаются в трехмерные твердые полимеры. По механическим свойствам полиэфирные компаунды несколько уступают эпоксидным. Допускаемая температура эксплуатации их до 120°C, морозостойкость до -60°C. Выпускаются компаунды КГМС-1, КГМС-2, КП-10, КП-18, имеющие хорошие диэлектрические свойства: $\rho_v = 10^{15}$ Ом·м, $E_{пр} = 15 \dots 32$ кВ/мм, $\tan \delta = 0,003 \dots 0,04$.

Метакрилатные компаунды выпускают марок МБК-1 (без пластификатора) и МБК-2, МБК-3 (пластифицированные). При отверждении они дают осадку 5...6%. Эти компаунды обладают следующими диэлектрическими свойствами: МБК-1 – $\rho_v = 10^{16}$ Ом·м, $E_{пр} = 20 \dots 28$ кВ/мм, $\tan \delta = 0,06$; МБК-2, МБК-3 – $\rho_v = 10^{14} \dots 10^{15}$ Ом·м, $E_{пр} = 18 \dots 21$ кВ/мм, $\tan \delta = 0,04 \dots 0,09$.

Полиуретановые компаунды имеют высокие морозостойкость (до -80°C) и эластичность. Однако они обладают невысокой механической прочностью, более низкими диэлектрическими свойствами и значительной их зависимостью от температуры при нагреве выше 80°C. Компаунды марок КТ-102 и КГ-102 полимеризуются при температуре 60°C и имеют $\rho_v = 10^{13}$ Ом·м, $E_{пр} = 17$ кВ/мм. Компаунды К-30 и К-31 полимеризуются при температуре 80°C и обладают более низкой электрической прочностью ($E_{пр} = 6,5$ кВ/мм).

Глава 4. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

4.1. Неорганические стекла и эмали для защиты металлов

Неорганическое стекло представляет собой аморфный, изотропный, прозрачный, твердый и хрупкий термопластичный материал, получаемый

в результате переохлаждения расплава различных стеклообразующих компонентов и оксидов металлов. По стеклообразующему веществу стекла классифицируются на: 1) силикатные (SiO_2); 2) алюмосиликатные ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$); 3) алюмоборосиликатные ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$); 4) алюмофосфатные ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5$) и др.

Наличие в стекле модификаторов (оксидов щелочных и нещелочных металлов) позволяет придать ему определенные физико-механические свойства.

По назначению стекла подразделяются на **техническое** (оптическое, светотехническое, медицинское, химико-лабораторное, электротехническое, автотранспортное и др.), **строительное** (оконное, витринное, армированное, стеклоблоки), **бытовое** (стеклотара, зеркала и пр.).

Переработка стекломасс в изделия осуществляется при температуре 1000...1100°C, температура размягчения – 600...800°C, при температуре ниже 500...425°C стекла переходят в стеклообразное состояние.

Плотность стекол зависит от их химического состава и лежит в пределах от 2200 до 6500 кг/м³. При нормальных температурах стекла не имеют пластической деформации и обладают низким временным сопротивлением (30...90 МПа), при сжатии предел прочности составляет 500...2000 МПа. Стекла обладают низкой ударной вязкостью 1,5...2,5 кДж/м².

Для изменения свойств стекол применяют его термическую обработку. Так, отжиг обеспечивает снятие внутренних напряжений, а закалка позволяет повысить механическую прочность и термическую стойкость.

Термические свойства стекол характеризуются теплопроводностью, термостойкостью и тепловым расширением. Самую низкую теплопроводность имеют свинец- и барийсодержащие стекла, а более теплопроводны кварцевые и боросиликатные стекла, коэффициент теплопроводности лежит в пределах от 0,68 до 1,55 Вт/м·К. Для большинства видов стекол термостойкость лежит в пределах от 90 до 170°C, а для кварцевого от 800 до 1000°C. Коэффициент теплового расширения может изменяться в широких пределах (в 10 раз и более) и зависит от содержания оксидов (оксиды бария, свинца, натрия, лития, калия увеличивают коэффициент теплового расширения; оксиды бора, кремния, титана, цинка – уменьшают.).

При нормальных температурах стекла имеют высокую химическую стойкость к действию воды и кислот (кроме плавиковой и фтористой), в то же время в растворах щелочей прочность стекла резко снижается. При температурах ниже 200°C стекла являются отличными диэлектриками и

используются в качестве высоковольтных изоляторов ($\rho_v = 10^{10} \dots 10^{20} \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $E_{пр} = 100 \dots 600 \text{ кВ/мм}$ – на постоянном токе и $E_{пр} = 16 \dots 50 \text{ кВ/мм}$ – на переменном токе).

Важнейшими свойствами стекол являются оптические свойства: **светопрозрачность, отражение, рассеивание, поглощение и преломление света**. Обычное оконное стекло пропускает до 90%, отражает 8%, поглощает 1% видимого и частично инфракрасного света, почти полностью поглощает ультрафиолетовые лучи. Прозрачным для ультрафиолетовых лучей являются кварцевые стекла. Коэффициент преломления стекол составляет 1,47...1,96. При введении большого количества оксида свинца стекло поглощает рентгеновские лучи.

Для упрочнения стекол применяется их закалка, термохимическая обработка и создание слоистых материалов – триплексов и термопанов.

Закалка заключается в нагреве стекол до температуры 500...700°C и резкого равномерного охлаждения в потоке воздуха или в масле. При этом сопротивление статическим нагрузкам увеличивается в 3-6 раз, ударная вязкость в 5-7 раз. При закалке также возрастает термостойкость стекол.

Термохимическое упрочнение основано на обработке поверхности плавиковой кислотой (для снижения дефектности поверхности) с последующей закалкой в кремнийорганических жидкостях, в результате чего меняется структура стекла, а на его поверхности образуется прочная полимерная пленка.

Триплексы представляют собой два листа закаленных стекол толщиной 2...3 мм, склеенных тонкой прозрачной эластичной полимерной пленкой. **Термопаны** также изготавливаются из двух листов закаленных стекол с воздушной прослойкой между ними. Стекла этого вида являются безосколочными.

Триплекс, термопан и закаленные стекла применяются для остекления транспорта. В литейных и мартеновских цехах используются стекла с большим содержанием оксидов железа и ванадия, они поглощают до 70% инфракрасного излучения. **Оптические стекла**, используемые в приборах, подразделяются на **кроны** (с малым коэффициентом преломления), **флинты** (с большим содержанием свинца и большим коэффициентом преломления), **светорассеивающие стекла** (содержат фтор). В электротехнической промышленности широко используются электропроводящие халькогенидные, оксидно-ванадиевые стекла, а также литиевые, магниевые, борные и фотоситаллы. Для футеровки емкостей, контактирующих с

агрессивными средами, для защиты металлических поверхностей от коррозии и воздействия высоких температур применяются шлакоситаллы (на основе доменных шлаков, кварцевого песка и катализаторов).

Ситаллы представляют собой поликристаллические материалы с очень мелкими равномерно распределенными по объему кристалликами диаметром 0,01...1,0 мкм, соединенными тонкими прослойками остаточного стекла. Плотность ситаллов 2450...2950 кг/м³. Временное сопротивление 110...160 МПа, предел прочности при сжатии 700...2000 МПа, ударная вязкость $\psi = 45 \dots 105 \text{ кДж/м}^2$. Ситаллы устойчивы к кислотам и щелочам, не поглощают воду, стойки к термоударам.

Для изготовления стекловолокна и стеклотканей используются термоизоляционные материалы АСИМ, АТИМС, АТМ-3 и др. Температурный диапазон их эксплуатации составляет от –60 до +500°C, плотность – 20...130 кг/м³.

Эмаль – это легкоплавкое стекло, обычно непрозрачное (заглушенное), часто окрашенное, которое в виде тонкого слоя наплавляют на металлические изделия.

Назначение эмали – защитить металл от окисления, а также от разрушения различными химически действующими жидкостями, в том числе крепкими минеральными кислотами и щелочными растворами. Эмалевые покрытия выдерживают нагрев до 200...300°C, устойчивы к свету и не изменяются во времени. Помимо защиты от коррозии, эмалевое покрытие придает изделиям красивый внешний вид. В эмалированных изделиях удачно сочетаются механическая прочность металла с химической устойчивостью стекла и его декоративными качествами – блеском, заглушенностью и окраской.

Основными металлами для эмалирования являются черные металлы – в первую очередь сталь, а затем чугун. В значительно меньших масштабах эмалируют цветные металлы – алюминий и его сплавы, а также медь, латунь и другие металлы.

Различают эмали **грунтовые** и **покровные**. Первые служат для лучшего сцепления покровной эмали с поверхностью металла, вторые придают поверхности необходимую химическую устойчивость и декоративный вид. Толщина слоя эмали на тонкостенных (0,3...1,0 мм) изделиях составляет 0,2...0,6 мм, на толстостенных (10...20 мм) изделия эмаль наносят в несколько слоев, общая толщина слоя при этом достигает 1...2 мм.

Эмали для черных металлов получают сплавлением шихты, состоящей из песка, полевого шпата, буры, соды и небольших количеств веществ, сообщающих грунтовой эмали способность прочно сцепляться с металлом (главным образом окислов кобальта и никеля).

4.2. Керамика

Под *керамикой* понимаются поликристаллические материалы, получаемые спеканием неметаллических порошков природного или искусственного происхождения.

Керамические материалы выгодно отличаются от металлических и полимерных высокой коррозионной стойкостью и возможностью регулирования свойств материала в широких пределах за счет изменения структуры, низкой плотностью.

По составу керамику можно подразделить на *кислородную*, состоящую из оксидов металлов и неметаллических элементов (бериллия, магния, алюминия, кремния, титана, циркония), и *бескислородную* – нитридную, карбидную, боридную и др.

Основные характеристики конструкционных керамических материалов представлены в табл. 24.

Таблица 24

Свойства и области применения керамических материалов

Основа керамики	Температура плавления, °С	Плотность, 10 ³ кг/м ³	Предел прочности при 20°С, МПа		Особенности применения
			При изгибе	При сжатии	
Оксидная керамика					
Al ₂ O ₃ (корундовая)	2050	3,99	150	3000	Химически стойкая, отличный диэлектрик, высокая прочность Применение – резцы для чистовой обработки, абразивные инструменты, фильеры для кабельной промышленно-

					сти, детали машин, свечи зажигания ДВС
Окончание табл. 24					
Основа керамики	Температура плавления, °С	Плотность, 10 ³ кг/м ³	Предел прочности при 20°С, МПа		Особенности применения
			При изгибе	При сжатии	
ZnO	2700	3,60	230	2100	Высокая термостойкость (до 2200°С). Низкая стойкость к термудару Применение – огнеупорные тигли, тепловая изоляция печей и аппаратов, термическая защита металлических поверхностей
Бескислородная керамика					
SiC (карборунд)		3,20	250	1500	Устойчива к кислотам, неустойчива к щелочам Применение – абразивные инструменты
BN		3,45			Диэлектрик Применение – инструментальное производство, абразивные инструменты

Эти материалы представляют собой многофазные системы, в которых присутствуют *кристаллическая, аморфная и газовая фазы*. *Кристаллическая фаза*, составляющая основу конструкционной керамики, представляет собой твердые растворы или определенные химические соединения. *Аморфная фаза* находится по границам кристаллической и может составлять до 40%. *Газовая фаза* образуется при обжиге керамики и для конструкционной керамики в основном нежелательна. В зависимости от формы пор и количества газовой фазы керамику подразделяют на плотную, без открытых пор и пористую. Наличие пор обуславливает снижение прочно-

сти керамики, однако она представляет собой особый класс химически стойких материалов и используется для фильтрации агрессивных химических жидкостей и суспензий.

Существенное влияние на механическую прочность керамики оказывает температура. Например, для оксидной керамики характерна незначительная потеря прочности (до 15%) при температурах до 800°C, а затем более резкое ее падение, при температурах выше 1200°C потеря прочности составляет более 50%.

Из чистых окислов производятся термоизоляционные керамические изделия, которые могут служить при температурах в 1600...1800°C, применяющиеся для нанесения антикоррозионных и теплозащитных покрытий в реактивных двигателях.

Одним из основных недостатков керамики является ее хрупкость, так как для распространения трещины в керамическом материале расходуется энергии в тысячу раз меньше, чем в металлах. Снижения хрупкости добиваются путем армирования керамики волокнами из хрома, никеля, ниобия, вольфрама, введением в состав диоксида циркония. Применяются также методы поверхностного упрочнения керамических материалов путем лазерной аморфизации поверхности. Керамические изделия в большинстве случаев являются хорошими диэлектриками и используются в качестве высоковольтных изоляторов (главным образом фарфор и стеатит).

Большое распространение в технике получила **пьезокерамика**, способная поляризоваться при упругой деформации или деформироваться под действием внешнего электрического поля. В основном используется титанат бария BaTiO_3 и керамика на основе системы $\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$. Пьезокерамические материалы нашли применение в качестве электромеханических и электроакустических преобразователей.

Керамические материалы используются также в качестве терморезисторов и варисторов, изменяющих электросопротивление под действием соответственно температуры и приложенного напряжения.

Алюмооксидная керамика широко используется в электронике для изготовления подложек интегральных схем, а также для подложек корпусов больших интегральных схем (чипов).

Ферромагнитная керамика, представляющая собой соединения типа $\text{Me}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ или $\text{MeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Me обозначает металл), характеризуется высокой магнитной проницаемостью и хорошими диэлектрическими свой-

ствами. Наибольшее распространение получили ферриты, содержащие оксиды магния, никеля, цинка, кальция, марганца.

В промышленности используется **керамика со специфическими оптическими свойствами: оптически прозрачная, с люминисцентными свойствами, светочувствительная**. Такая керамика изготавливается на основе оксида алюминия, оксида иттрия, легированного редкоземельными элементами, оксида бериллия, цирконата или титаната свинца, теллурида кадмия.

Процесс изготовления керамических изделий состоит из подготовки формовочной массы (смешивание компонентов в виде порошков в сухом виде или в жидкой среде), формирования изделия (прессование в формах под давлением 100...600 МПа), сушки и обжига (температура спекания определяется составом исходных компонентов зачастую в контролируемой газовой среде). Механическая обработка изделий из керамики заключается в их шлифовке алмазными кругами.

Керамические материалы наряду с высокой твердостью, как правило, имеют повышенную хрупкость, низкое сопротивление изгибу и ударным нагрузкам. Ликвидировать многие из этих недостатков позволяет сочетание керамических материалов с металлической связкой. Материалы, получаемые путем спекания металлических и керамических порошков, называются керметами. Керметы обладают высокими прочностными свойствами, химической стойкостью, высокой тепло- и электропроводимостью. Они нашли применение в машиностроении для изготовления режущего инструмента, электрических скользящих контактов, подшипников скольжения, в авиационной и космической технике для изготовления камер сгорания ракет и авиационных двигателей и т.д.

Металлокерамические композиционные материалы изготавливают методами порошковой металлургии из железа, ванадия, молибдена, вольфрама, кобальта, меди и других металлов, тугоплавких оксидов, а также карбидов, боридов, нитридов и силицидов металлов.

Для режущего инструмента применяются **твердые сплавы на основе высокотвердых тугоплавких карбидов** ванадия, титана, тантала на кобальтовой связке. Формовочную смесь спекают при температуре 1400...1550°C в среде водорода или в вакууме.

Вольфрамкобальтовые сплавы состоят из карбидов вольфрама и кобальтовой связки. Теплостойкость этих сплавов – до 800°C. Обознача-

ются они буквами ВК, за которыми следует цифра, указывающая количество кобальта в массовых процентах, например ВК3, ВК8, ВК10.

Титановольфрамовые сплавы состоят из карбидов титана и вольфрама с кобальтовой связкой.

Теплостойкость сплавов этой группы составляет 900...1000°C. Обозначаются сплавы буквами ТК. Например, сплав Т15К6 содержит 15% TiC, 6% кобальта и 79% WC. **Титано-кобальтовые сплавы** применяют для обработки резанием сталей.

Титано-тантало-вольфрамо-кобальтовые сплавы применяют для обработки труднообрабатываемых сплавов. Обозначаются эти сплавы буквами ТТК, например ТТ10К8 (10% карбидов титана и тантала, 8% - кобальта). Теплостойкость этих сплавов составляет 1000°C.

Для изготовления режущего инструмента применяется также **безвольфрамовая минералокерамика** на основе глинозема Al_2O_3 (оксидная), например ЦМ-332 (микролит), ВО-13; смеси Al_2O_3 с карбидами (ВЗ, ВОК-60, СС620, СМ2), нитридами (кортинит, СС680, СС650) и другими соединениями (керметы), а также безвольфрамовые твердые сплавы на основе карбида титана (ТН20), карбонитрида титана (КНТ16, СД-3), нитрида титано-тантала (Т12А, Т23А).

Оксидную керамику применяют для чистовой и получистовой обработки незакаленных сталей и серых чугунов со скоростями резания до 15 м/с.

Резцы из пластинок микролита применяют при обработке конструкционных и легированных сталей, различных чугунов и особенно цветных металлов, а также графита, твердых пород дерева, пластмасс и др. Из микролита, кроме режущего инструмента, изготавливают детали к машинам и аппаратам, подвергающимся интенсивному износу, различные фильеры, втулки, мундштуки и др.

Кроме компактной (беспористой), применяется и **пористая металлокерамика**, получаемая путем введения в исходную композицию дисперсных или волокнистых компонентов, которые из готовых изделий выплавляются или вымываются, образуя открытые поры. Таким образом, получают материалы с открытыми порами. Их применяют для изготовления фильтров очистки жидкостей и газов, подшипников скольжения, подшипников на воздушной подушке. В подшипниках скольжения поры заполняются смазочными веществами и выполняют функции емкостей для удержания смазки и подачи ее в нужный момент в зону трения.

Материалы с закрытыми порами получают путем введения в исходную композицию газообразующих веществ – **порофоров**.

В ряде областей машиностроения находят применение **теплоизоляционные керамические материалы** (пористые окисные огнеупоры, изготовленные по разной технологии из чистых окислов или карбидов). Пористость такой керамики достигает 85...90%, а предельная рабочая температура – 2200°C.

Химически стойкая керамика отличается незначительной прочностью, удовлетворительной термостойкостью и незначительной проницаемостью для жидкостей и газов. В зависимости от назначения она подразделяется на футеровочную (для защиты различных аппаратов и строительных конструкций), насадочную и изделия для химической аппаратуры.

Футеровочные и насадочные изделия изготавливаются из шамотированных масс и обладают грубозернистым строением (кислотоупорные кирпичи и плитка). Кислотоупорные кирпичи применяют для футеровки крупных химических аппаратов (башен, скрубберов и др.), резервуаров, газоходов, желобов, а также для кладки фундаментов аппаратов, колонок и т.п.

Кислотоупорные плитки изготавливают трех видов: кислотоупорные, термостойкие и термостойкие для гидролизной промышленности.

4.3. Углеродистые материалы

Графит представляет собой полиморфную модификацию углерода с плотностью 2,22...2,26 г/см³ и пределом прочности 16...30 МПа.

Прочность и модуль упругости графита растут с увеличением температуры до 2200°C, а при температуре 3700°C он возгоняется, минуя жидкую фазу. Графит имеет высокую стойкость к кислотам и органическим растворителям, высокие антифрикционные свойства, тепло- и электропроводность, хорошо обрабатывается резанием. Благодаря значительной термостойкости материалы на основе графита нашли широкое применение для изготовления плавильных тиглей, литейных форм, деталей ракет и ядерных реакторов. Антифрикционные свойства графитовых материалов позволяют использовать их в качестве подшипников скольжения и твердых смазок. Электротехнические графитовые материалы используются для изготовления контактных щеток, нагревательных элементов, резисто-

ров для радиотехнической промышленности. В производстве графитовых материалов применяются как природный, так и полученный искусственно (пирографит) путем высокотемпературной термической обработки нефтяного и каменного коксов, а также методом осаждения из газообразных углеводородов. Пирографит имеет более высокую степень чистоты, стабильность свойств.

В производстве композиционных материалов в качестве армирующих элементов используют углеродные волокна, получаемые из органических волокон путем специальной термической обработки.

Подшипники скольжения на основе углеграфитных материалов способны работать без смазки в диапазоне температур от -200 до $+2000^{\circ}\text{C}$, со скоростями скольжения до 100 м/с, в том числе и в агрессивных средах, кроме работы в среде осушенных газов и в вакууме. Для изготовления поршневых колец компрессоров, уплотнителей колец, подшипниковых вкладышей центробежных и гидронасосов применяют углеродные обожженные (АО-600, АО-1500) и графитизированные (АГ-1500) материалы, а также эти материалы с пропиткой баббитом (АО-600-Б83), свинцово-оловянистым сплавом (АО-600-СО5, АГ-1500-Б83) и др. При этом увеличивается прочность в $1,5...2$ раза, но снижается температура эксплуатации.

На основе фторопласта-4 и углеродных наполнителей производят графитопластовые материалы марок 7В-2А, АФГМ, АФГ-80ВС, а при использовании эпоксидно-кремнийорганического связующего – АМС-1, АМС-3, АМС-5.

Для изготовления деталей сухого трения, работающих в агрессивных средах, при высоких нагрузках и скоростях скольжения используют графитизированные материалы с пропиткой полимерными связующими (НИГРАН, НИГРАН-В).

Свойства некоторых углеграфитовых материалов приведены в табл. 25.

В углерод-углеродных композитах материалы матрицы и упрочняющих волокон имеют одну природу и физико-механические свойства, благодаря чему такие композиционные материалы имеют высокую термостойкость, термостабильность геометрических размеров, минимальные напряжения на границе раздела волокно-матрица при термических воздействиях.

В зависимости от назначения деталей армирующие углеродные волокна могут располагаться хаотично (волокна измельчают до размеров 0,5...1,00 мм), могут быть ориентированы в двух направлениях (слоистые, получают укладкой углеродных тканей друг на друга) и с пространственным объемным ориентированием (получают объемным плетением углеродных волокнистых жгутов или лент).

Перед насыщением углеродом полученные заготовки отверждают и подвергают термообработке при температуре 800...1000°C. Углеродную матрицу получают двумя способами: путем карбонизации полимерной матрицы в процессе ее высокотемпературной обработки в инертной среде или путем осаждения из газовой фазы пироуглерода, образующегося при термической деструкции углеводородов в порах углеволокнистого армирующего каркаса (возможно использование обоих методов одновременно). В качестве пропиточных составов для образования полимерной матрицы используют фенолоформальдегидные, эпоксифенольные, кремнийорганические, полибизимидозольные и другие термореактивные полимерные смолы. Для снижения пористости и повышения плотности пропитку и карбонизацию повторяют.

Высокие механические свойства углерод-углеродные композиты (табл. 26) сохраняют лишь при отсутствии окислительных сред. На воздухе уже при температуре 400°C наблюдается окисление углерода и потеря прочности. Замедляют процесс окисления путем пропитки композитов фосфатами и боратами, нанесением защитных силицидных и карбидных покрытий.

Таблица 26

Механические свойства
углерод-углеродных композитов

Наполнитель	Матрица	Плотность при 20°C, г/см ³	Предел прочности при изги-	Модуль упругости при изги-
-------------	---------	---	----------------------------------	----------------------------------

			бе, МПа	бе, ГПа
Углеродная ткань из низ- комодульного волокна	Эпоксидная карбонизиро- ванная	1,38	115	14
	Фенольная карбонизиро- ванная	1,43	135	15
	Полибензи- мидозольная карбонизиро- ванная	1,34	30	15
Высокомо- дульное угле- родное волок- но	Фенольная карбонизиро- ванная	1,55	152	175
	Фенольная графитизиро- ванная	1,64	600	189
	Пироугле- родная	1,60	760	140
Углеродный войлок	Пироугле- родная	1,60	60	14...21

Углерод-углеродные композиционные материалы применяют для изготовления деталей, работающих при высокой температуре в присутствии агрессивных сред: внешней теплозащиты возвращаемых космических аппаратов, внутренней теплозащиты элементов ракетных двигателей, насадок плазменных установок, уплотнений химической и теплообменной аппаратуры и др.

4.4. Минеральные вяжущие вещества и изделия на их основе

Минеральные вяжущие вещества в зависимости от состава, основных свойств и областей применения делятся на две группы: **воздушные** (гипсовые, магнезиальные, строительная воздушная известь, растворимое стекло) и **гидравлические** (портландцемент и его разновидности, глиноземистый цемент, шлаковые цементы и др.).

Изделия на основе гипсовых вяжущих делятся на **гипсовые** (смесь гипса и воды) и **гипсобетонные** (смесь гипса, воды и заполнителей). В качестве заполнителей применяются котельный и доменный шлаки, кварцевый песок, древесная мука и опилки. Гипсовые изделия характеризуются сравнительно небольшим объемным весом и несгораемостью, однако обладают значительной пластической деформацией под нагрузкой (ползучесть), а при увлажнении резко снижается их прочность. Гипсовые изделия могут быть сплошные, пустотелые и пористые, армированные и неармированные. Для армирования гипсовых изделий применяют картон, камыш, древесную фибру и различные волокнистые материалы. Из гипсовых строительных изделий наиболее широкое распространение получили сухая штукатурка, гипсовые и гипсобетонные плиты, стеновые камни, вентиляционные короба, архитектурно-декоративные изделия и др.

К **магнезильным вяжущим веществам** относят каустический магnezит и каустический доломит. Их получают обжигом магнийсодержащих материалов.

Магнезиальные вяжущие вещества хорошо связывают твердые частицы, поэтому их применяют преимущественно вместе с органическими наполнителями: опилками, древесной шерстью, кострой и др. На основе магнезиальных вяжущих веществ выпускают фибролит (термоизоляционный, конструктивный и фибролитовая фанера), ксилолит (для изготовления бесшовных полов), пено- и газомagneзит (для получения газосиликатов), совелит и ньувель (теплоизоляционные материалы).

Строительная воздушная известь является продуктом, получаемым обжигом до возможно более полного выделения углекислоты из кальцево-магнезиевых карбонатных пород, содержащих не более 6% глинистых примесей. Основные виды извести, и их применение приведены в табл. 27.

Таблица 27

Применение строительной воздушной извести

Известь	Основные области применения	Основное свойство извести
Негашеная молотая маломagneзиальная	Приготовление строительных и штукатурных растворов, бетонов низких марок, автоклавных строитель-	Гидратационное твердение, высокая прочность, вяжущие свойства

	ных материалов (кирпича, панелей и т.п.), гидравлических вяжущих – известково-шлаковых Известково-пуццолановых, известково-глиняных и др.; гипсоизвестковых вяжущих; известковых красочных растворов, шлакобетона	
Гидратная (гашеная) маломagneзиальная	То же	Вяжущие свойства
Молотая негашеная и гашеная маломagneзиальная	Приготовление строительных растворов и штукатурок, предназначенных для службы в воздушно-сухих условиях, для производства легкобетонных камней	То же
Гидратная (гашеная) доломитовая	Для тех же целей, что и магнезиальная, а также для изготовления теплоизоляционных материалов при затворении растворами хлористого и сернокислого магния	Твердение по типу магнезиальных вяжущих

Окончание табл. 27

Известь	Основные области применения	Основное свойство извести
Карбонатная	Приготовление строительных растворов и штукатурок, смешанных цементов, красочных растворов	То же
Гидравлическая известь	Приготовление строительных растворов и штукатурок, бетонов низких марок	Относительно более высокая водостойкость, чем воздушной извести

К **вяжущим веществам автоклавного твердения** относятся известково-песчаные, вяжущие на основе нефелинового шлама, доменных гранулированных и отвальных шлаков и ряд других.

Для приготовления известково-песчаного вяжущего используют магнезиальную молотую негашеную, характеризующуюся средней скоростью гидратации, или гидратную известь. Песок применяют немолотым, грубомолотым и в виде смеси немолотого и тонкомолотого. Вместо песка можно использовать доменные гранулированные и отвальные шлаки, мартеновские и ваграночные шлаки, золу.

Нефелиновое вяжущее состоит из 75...80% нефелинового шлама, 10...15% извести и 5% гипса.

Автоклавные строительные материалы могут быть плотными и ячеистыми, армированными и неармированными. Из них изготавливают кирпичи, блоки, панели, колонны, лестничные марши и др. Ячеистые силикатные материалы используются в качестве теплоизоляционных и легко обрабатываются режущими инструментами.

На основе растворимого стекла производятся кислотоупорный кварцевый кремнефтористый цемент (применяется для изготовления башен, резервуаров, ванн и других химических аппаратов, для химической защиты аппаратуры от воздействия минеральных и органических кислот, кислотостойких замазок, красок, кислотоупорных растворов и бетонов) и кислотоупорный цемент без Na_2SiF_6 (применяется для связки кислотоупорных кирпичей и кислотоупорных замазок). На основе этих цементов готовят кислотоупорный бетон (1 вес. ч. гранита, кварца и пр.; 1 вес. ч. песка; 1...2 вес. ч. щебня; 0,4 вес. ч. цемента), жаростойкий бетон (1 вес. ч. тонкомолотого шамота; 1 вес. ч. песка; 0,1 вес. ч. щебня; 0,1 вес. ч. цемента рабочих температур до 1400°C), а также кислотоупорные замазки.

Портландцементом называется гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе, получаемое путем совместного тонкого измельчения клинкера и необходимого количества гипса. Портландцемент выпускается следующих марок: 250, 300, 400, 450 и 500, предел прочности при изгибе которых должен быть соответственно не менее 4,0; 5,0; 6,0; 6,5 и 7,0 МПа (табл. 28). Для замедления схватывания портландцемента используют гипс, сульфитно-спиртовую барду, борную кислоту, соли ортофосфорной кислоты, а для ускорения – CaCl_2 , HCl , Na_2CO_3 , триэтанолламин, глиноземистый цемент, растворимое стекло и ряд других веществ. Для получения из портландцемента теста нормальной густоты тре-

буется 21...27% воды. Водопотребность можно уменьшить введением пластифицирующих добавок – поверхностно-активных веществ (триэтанолламин, сульфитно-спиртовая барда и др.).

Основные свойства портландцемента и его применение представлены в табл. 28, 29.

Таблица 28

Строительно-технические свойства цементов

Цемент	Объемный вес, м/м^3		Срок схватывания, ч		Марочная прочность, МПа
	В рыхлом состоянии	В уплотненном состоянии	Начало	Конец	
Портландцемент (ПЦ)	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	30, 40, 50, 60, 70

Окончание табл. 28

Цемент	Объемный вес, м/м^3		Срок схватывания, ч		Марочная прочность, МПа
	В рыхлом состоянии	В уплотненном состоянии	Начало	Конец	
Быстротвердеющий ПЦ	0,8...1,3	1,3...2,0	0...45	12	50, 60
Сульфатостойкий ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	–	–	40, 50, 60
Для асбестоцементных изделий	0,9...1,3	1,4...2,0	1...30	–	50, 60
Пластифицированный ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	30, 40, 50, 60
Гидрофобный ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	30, 40, 50, 60
Белый ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	0...30	12	25, 30, 40
Магнезиальный ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	30, 40, 50
Тампонажный	0,9...1,3	1,4...2,0	2...45,	2...45,	50, 60

ПЦ			7...30	7...30	
Дорожный ПЦ	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	50
ПЦ					
с умеренной экзотермией	0,9...1,3	1,4...2,0	0...45	12	40, 50
Пуццолановый ПЦ	0,8...1,0	1,2...1,6	0...45	12	30, 40, 50, 60
Шлакопортландцемент	0,9...1,2	1,4...1,8	0...45	12	30, 40, 50, 60
Известково-шлаковый	0,8...0,9	1,2...1,4	1...30	4	5, 10, 15
Гипсо-шлаковый	0,8...1,0	1,2...1,5	0...50	12	15, 20, 25, 30
Глиноземистый	1,0...1,3	1,6...1,8	0...50	12	40, 50, 60
Водонепроницаемый расширяющийся	0,9...1,2	1,4...1,8	—	—	—

На основе портландцемента приготавливают: тяжелые и особо тяжелые бетоны; легкие и особенно легкие бетоны; железобетоны; жароупорные бетоны; полимерцементные и стеклоцементные бетоны.

Глава 5. ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

5.1. Натуральные древесные материалы

Древесина имеет капиллярно-пористое строение. Стенки капилляров состоят на 90...95% из высокомолекулярных (целлюлоза, лингин, гемицеллюлоза) соединений и на 5...10% из низкомолекулярных соединений (углеводороды, эфирные масла, смолы) и минеральных веществ. Капилляры имеют сечение от 0,05 до 0,4 мм и выполняют роль проводящих систем. Физико-механические свойства древесины зависят от ее макро- и микроструктуры, влажности, направления приложения нагрузки, возраста и пороков отдельных участков (механические повреждения, грибковые поражения, червоточины, отклонения строения из-за наличия сучков и др.).

Древесина содержит свободную воду, заполняющую капилляры, и связанную, входящую в клеточные оболочки. При высыхании сначала теряется свободная вода, а затем связанная. У свежесрубленного дерева общая влажность может достигать 100% (70% приходится на свободную воду). Равновесная влажность сухой древесины составляет 7...10% в закрытом помещении и 10...20% на воздухе. При потере связанной воды происходит усушка древесины, сокращение размеров капилляров, что приводит к возникновению внутренних напряжений и, как следствие, к короблению древесины и образованию трещин. Скорость и условия сушки также влияют на появление коробления и трещин.

Для повышения стойкости древесины к гниению, снижения горючести и влагопоглощения применяют ее пропитку разными составами (антисептиками, синтетическими смолами, антипиренами), а также окраску огне- и влагозащитными красками, перхлорвиниловыми покрытиями и др. В качестве антисептиков используют фторид- и кремнефторид натрия, хлористый цинк, креозотовое масло и др.

В качестве антипиренов используют составы, содержащие соли аммония, фосфорной или борной кислоты.

Натуральную древесину подразделяют на хвойные и лиственные породы. Основные показатели механических свойств древесины представлены в таблице 30.

В народном хозяйстве натуральная древесина применяется в виде пиломатериалов и заготовок.

По характеру обработки различают пиломатериалы: обрезные – четыре боковые стороны пропилены, а обзол (не пропиленная боковая поверхность бревна) не превышает нормы; необрезные – пласти пропилены, а кромки не пропилены или пропилены частично, и размеры обзолов превышают норму; ширина необрезных материалов равна полусумме ширин двух пластей посередине длины с точностью 0,5 см.

По соотношению размеров поперечного сечения различают: доски – ширина более двойной толщины, бруски – ширина не более двойной толщины, брусья – ширина и толщина более 100 мм (табл. 31)

По толщине пиломатериалы бывают тонкие (до 32 мм) и толстые (40 мм и более).

Поперечные размеры пиломатериалов установлены для древесины с влажностью 15%, при большей влажности предусматривают припуск на усушку.

Пиломатериалы хвойных пород. В зависимости от допускаемых пороков древесины доски и бруски получают пяти сортов: отборного и 1-5-го, а брусья четырех сортов: 1-4-го.

Таблица 31

Размеры пиломатериалов хвойных пород
Длина 1 - 6,5 м (через 0,25 м)

Пиломатериал	Толщина, мм	Ширина, мм									
		80	90	100	110	130	150	—	—	—	—
Доски	13	80	90	100	110	130	150	—	—	—	—
	16	80	90	100	110	130	150	180	—	—	—
	19	80	90	100	110	130	150	180	200	—	—
	22	80	90	100	110	130	150	180	200	—	—
	25	80	90	100	110	130	150	180	200	220	250
	32	—	—	100	110	130	150	180	200	220	250
	40	—	—	100	110	130	150	180	200	220	250
Бруски	50	—	—	100	—	130	150	180	200	220	250
	60	—	—	100	—	130	150	180	200	220	250
	75	—	—	100	—	130	150	180	200	220	250
	100	—	—	100	—	130	150	180	200	220	250
Брусья	130	—	—	—	—	130	150	180	—	—	—
	150	—	—	—	—	—	150	180	200	—	—
	180	—	—	—	—	—	—	180	—	220	—
	200	—	—	—	—	—	—	—	200	—	250
	220	—	—	—	—	—	—	—	—	220	250
	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	250

Примерное назначение хвойных пиломатериалов следующее:

- сорт отборный – детали обшивки и связей судов, дышла, мотовильные планки сельскохозяйственных машин, решетки бортов грузовых автомобилей и т.п. нагруженные детали;

- сорт 1-й – внутренние палубы судов, детали семенных ящиков сеялок, делители жаток, поперечные балки кузовов автомобилей и другие ответственные детали;

- сорт 2-й – брусья спиц и укосин сельскохозяйственных машин, верхние доски бортов и крайние доски пола грузовых автомобилей, тонкая обшивка стен и доски пола в просвете дверей грузовых, железнодорожных вагонов и другие массивные детали изделий;

- сорт 3-й – доски бортов и пола грузовых автомобилей, доски пола и толстая обшивка стен, обшивка крыши грузовых железнодорожных вагонов и другие менее нагруженные детали, раскрой на мелкие заготовки;

- сорт 4-й – раскрой на мелкие заготовки и тару.

Пиломатериалы лиственных пород должны иметь влажность не более 25%.

Пиломатериалы изготавливают трех сортов.

Размеры (для древесины с влажностью 15%): длина 1 – 6,5 м (через 0,25 м); толщина 13...25 мм (через 3 мм); 32, 40, 50, 60 и 75 мм; ширина (необрезные) 50 мм и более (через 10 мм). При большей влажности предусматривают припуски на усушку для ширины и толщины.

Бруски изготавливают квадратного и прямоугольного сечения.

Лиственные породы используют для изделий, изготовление которых связано с деформированием (гибкой) материала.

5.2. Композиционные древесные материалы

На основе древесных полуфабрикатов (древесная мука, стружка, опилки, щепа технологическая) изготавливают композиционные материалы.

Массы древесные прессовочные, состоящие из мелких частиц древесины, пропитанной различными смолами, используют для изготовления деталей машин (втулок, шкивов, роликов), а также строительных изделий методом горячего прессования. Переработка этих масс производится при температуре 150°C, давлении прессования 400...600 МПа. Выпускаются массы древесные прессовочные, содержащие частицы длиной до 80 мм (МДПК), стружку (МДПС), опилки (МДПО), частицы игловидной формы (МДПВ) (табл. 32).

Таблица 32

Механические свойства древесных прессовочных масс

Свойство	МДПК	МДПС	МДПО	МДПВ
Плотность, 10 ³ кг/м ³	1,27	1,27...1,38	1,30...1,39	1,30...1,40
Предел прочности, МПа:				
при сжатии	80...100	90	110	100
при изгибе	70...120	55	50	50
Ударная вязкость,				

кДж/м² | 8...15 | 5 | 4 | 4

Древесина прессованная (ДПО, ДПД, ДПК, ДПР, ДПГ) в виде заготовок, обработанных по различным технологиям (с пропаркой, нагревом, пропиткой аммиаком) из различных пород древесины, используется для изготовления деталей, испытывающих ударные нагрузки: подшипников, прокладок, ползунов лесопильных рам и других деталей машин, а также мебели, паркета и т.д. Плотность этих материалов 700...1300 кг/м³, временное сопротивление (вдоль волокна) 140...230 МПа, ударная вязкость 60...80 кДж/м².

Шпон лущеный используется для изготовления фанеры в качестве материала для отделки изделий из древесных прессовочных масс и древопластиков. Шпон строганый применяют в качестве отделочного материала.

Фанера представляет собой многослойный материал, полученный путем склеивания листов шпона с различными схемами его ориентации в слоях. Он широко используется в мебельной промышленности, судостроении, вагоно- и автомобилестроении, радиотехнической промышленности и др. Выпускаются различные разновидности фанеры: с пропиткой наружных слоев смолами, металлизированная, покрытая смесью асбеста с цементом, декоративная и др.

Древопластики представляют собой композиционные материалы на основе полимеров, в которых наполнителями являются измельченная древесина, опилки, стружки, лом шпона, щепа.

Древесностружечные плиты изготавливают методом горячего прессования, толщиной от 10 до 25 мм, облицованные шпоном, декоративным пластиком и без облицовки. Используются они в мебельной промышленности, радио- и приборостроении, строительстве, машиностроении, для элементов несущих конструкций в строительстве, автомобиле- и вагоностроении.

Древесноволокнистые плиты используются в изделиях, защищенных от воздействия влаги, и выпускаются толщиной от 2,5 до 25 мм, шириной от 1220 до 1830 мм, длиной от 1200 до 5500 мм. По плотности они подразделяются на мягкие (М), полутвердые (ПТ), твердые (Т), сверхтвердые (СТ). При обозначении марки после указания твердости через дефис указывается значение предела прочности при изгибе, например СТ-500 ($\sigma_{изг} = 50$ МПа).

Высокой прочностью, износостойкостью и невысоким коэффициентом трения обладают древесно-слоистые пластики (ДСП), представляющие собой многослойные, горячепрессованные, пропитанные синтетическими смолами листы шпона с различной ориентацией волокон в слоях.

В качестве конструкционных и антифрикционных материалов в основном применяются древесно-слоистые пластики. Основные свойства их приведены в табл. 33.

Таблица 33

Механические свойства древесно-слоистых пластиков

Показатели	ДСП-А	ДСП-Б	ДСП-В	ДСП-Г
Плотность, 10 ³ кг/м ³	1,33	1,23...1,30	1,23...1,30	1,23...1,30
Временное сопротивление, МПа	—	200...300	130...140	—
Пределы прочности вдоль волокон, МПа:				
при сжатии	180	130...185	100...125	—
при изгибе	—	205...280	140...180	100...125
Ударная вязкость, кДж/м ²	—	60...80	25...30	17...30

Армированные композиционные древопластики (ДПКА1 и ДПКА2), кроме пропитанных древесных компонентов, содержат стекло- и углеродное волокно, а также дисперсные наполнители. Плотность их составляет 1400...1550 кг/м³, временное сопротивление 60...70 МПа, пределы прочности при сжатии 150...200 МПа, при изгибе 110...120 МПа, ударная вязкость 17...32 кДж/м². Используются они для изготовления опор скольжения, корпусных деталей.

Глава 6. КЛЕЯЩИЕ, ЛАКОКРАСОЧНЫЕ И ТРАВильНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

6.1. Клеящие материалы

Клеи представляют собой растворы, способные при затвердевании образовывать прочные соединения, обладающие хорошей адгезией, когезийной прочностью, достаточной эластичностью и долговечностью.

Клеи применяются для получения неразъемных соединений как однородных, так и различных по природе материалов. Они обеспечивают соединениям герметичность, атмосферостойкость и стойкость к коррозии, позволяют соединять тонкостенные изделия. Клеевые соединения весьма технологичны и отличаются низкой себестоимостью. Однако необходимо отметить склонность клеевой прослойки к старению под воздействием внешних факторов, невысокую прочность клеевого соединения при неравномерном отрыве и для большинства клеев – невысокую длительную теплостойкость.

Прочность клеевого соединения определяется химической природой и структурой клеящего вещества (адгезива) и субстрата, состоянием склеиваемых поверхностей, условиями его формирования и рядом других факторов.

Различают адгезионное и когезионное разрушение клеевого соединения. Под *адгезией* понимается способность клеевой прослойки прилипать и прочно удерживаться на поверхности склеиваемого материала, под *когезией* – собственная объемная прочность клеевого слоя.

Существуют следующие правила, обеспечивающие высокую прочность клеевого шва:

- 1) применять клей, хорошо смачивающий склеиваемые поверхности;
- 2) поверхности полярных материалов склеивать полярными клеями, неполярных – неполярными. Если возможно, неполярным поверхностям придавать полярность с помощью химической обработки поверхности (например, для полиэтилена и полистирола путем обработки серной кислотой или галоидами);
- 3) при затвердевании клеевой прослойки необходимо исключать возникновение внутренних напряжений, достаточных для ее разрушения (наносить по возможности более тонкий клеевой слой);
- 4) клеевая прослойка не должна быть жестче склеиваемого материала. В противном случае внешняя нагрузка может разрушить соединения из-за неравномерной концентрации напряжений в клеевом шве.

В состав клеев входят следующие компоненты: пленкообразующее вещество, которое определяет адгезионные, когезионные и основные механические свойства клеевого соединения; растворители; пластификаторы; отвердители и катализаторы; наполнители. В качестве пленкообразующих материалов наибольшее применение получили синтетические полимеры и каучуки.

В зависимости от пленкообразующего материала клеи подразделяются на смоляные, резиновые и неорганические.

Смоляные клеи бывают термореактивными и термопластичными. Термореактивные обладают высокими прочностными свойствами и теплостойкостью, обычно являются основой конструкционных клеев. Термопластичные клеи используют, как правило, для склеивания неметаллических материалов и приклеивания их к металлам в изделиях несилового назначения. Основные типы клеев и области их применения приведены в табл. 34.

Таблица 34

**Характеристики и области применения
некоторых конструкционных клеев**

Тип клея	Марка клея	Предел прочности при сдвиге, МПа	Термостойкость, °С	Склеиваемые материалы
Феноло-формальдегидный	ВЗ1-Ф9	13...15	45...100	Оргстекло между собой и с тканями, пористые материалы
Феноло-каучуковый	ВКЗ, ВК-13М, ВК-32-200, ВК-13	14...25	200 200 300	Металлы, стеклопластики
Феноло-поливинилацетатный	БФ-2, БФ-4 ВС-1ат ВС-350 БФР-2	17...19	80 200 300 кр. 350	Металлы, стеклопластики, деревопластики и др. материалы
Фенолокремнийорганический	ВК-8 ВК-15 ВК-18 ВК-18М ВК-20	12...17	100 1200 кр. 200 900 кр. 700	Стали, титан, графит и др. металлы и неметаллические материалы
Эпоксидный	К-153, Л-4	10...30	60	Металлы, стеклопластики, неметаллические материалы

БК-32-ЭМ	60	Стальные, алюминиевые и титановые сплавы, стеклопластики, полимеры
БК-1	150	Металлы и стеклопластики
Эпоксид П и ПР	100	Металлы и неметаллические материалы

Окончание табл. 34

Тип клея	Марка клея	Предел прочности при сдвиге, МПа	Термостойкость, °С	Склеиваемые материалы
	БК-9		125	Стали, алюминиевые сплавы, неметаллические материалы
	ЭПЦ-1		150	Асбоцемент, стали, неметаллические материалы
Эпоксидно-полиуретановый	БК-16	10...15	250	Металлы, стеклопластики, неметаллические материалы
Эпоксидно-кремнийорганический	ТКМ-75	18...20	300 350	Металлы и стеклопластики
Полиуретановый	ПУ-2 БК-11	11...20	60	Металлы, неметаллические материалы; декоративно-отделочные ткани, поролон с деревом и алюминиевыми сплавами
Кремнийорганический	ВКТ-2 ВКТ-3	10...17	200 300...400	Стекловолоконные материалы со сталями
Полиэфирный	ТМ-60	—	100	Полиэтиленовые пленки

Перхлорвиниловый	ХВК-2а	—	60	Х/б ткани с древесинной
Полиамидный	СП-6	15...30	300...375	Коррозионно-стойкие стали, титановые сплавы, композиты
Полибензимидазольный	ПБИ-1К		350...540	Коррозионно-стойкие стали, титановые сплавы, композиты

Резиновые клеи, основу которых составляют каучуки, отличаются высокой эластичностью и применяются для склеивания резины или приклеивания резины к металлам. Они представляют собой растворы каучуков или резиновых смесей в органических растворителях. Для крепления невулканизированных резин к металлам применяют клеи на основе бутадиен-акрило-нитрильных каучуков КР-5-18, ВКР-15, склеивание которыми происходит в процессе вулканизации резины, обеспечивая высокую прочность соединения. Допускаемая температура эксплуатации таких соединений на клее КР-5-18 составляет 120°С, а на ВКР-15 – до 200°С.

Склеивание вулканизированных нитрильных резин с температурой эксплуатации до 200°С производят клеями холодного отверждения – ВКР-7 и БКР-17. Последний клей стоек к воздействию масел и топлив. При температурах эксплуатации не выше 70°С крепление резин к металлам, стеклу и другим материалам может производиться клеями холодного отверждения – 88Н и 88НП. Однако эти соединения не стойки к топливам и минеральным маслам. Клей 88НП стоек к морской воде.

Теплостойкие невулканизированные резины на основе фторкаучуков и силиконовые резины склеивают между собой или приклеивают к металлам клеями 9М-358 и МАС-Ю. Склеивание происходит непосредственно в процессе вулканизации приклеиваемых резин. Такие клеевые соединения работоспособны до температур соответственно 200 и 350°С.

Клеи бывают *однокомпонентными*, поступающими к потребителю в готовом виде, и *многокомпонентными*, приготавливаемыми перед применением из поставляемых ингредиентов в соответствующих количествах с учетом срока жизнеспособности клея.

По физическому состоянию клеи бывают жидкие, пастообразные, твердые и пленочные.

Ленты со слоем липкого клея сохраняют длительное время липкость, не высыхая, и будучи нанесены на соответствующую поверхность, прилипают к различным материалам при легком нажатии рукой. Липкие клеящие слои обычно состоят из эластомера, обеспечивающего когезию клеевой пленки, веществ, придающих необходимую клейкость, и различных добавок (пластификаторов, наполнителей, антиоксидантов и т.д.). Наиболее часто применяют полиизобутилен, этилцеллюлозу и синтетические каучуки. Основой липких лент являются полиэтилен, целлофан, бумага, ткань, пластикат (табл. 35).

Таблица 35

Липкие ленты

Липкая лента	Основа		Назначение
	клея	ленты	
Полиэтиленовая	Полиизобутилен	Полиэтилен	Общетехническое
Целлофановая	Натуральный каучук, полиизобутилен и др.	Целлофан	При окраске изделий, технологической герметизации щелей и т.д.
Бумажная		Бумага	Технологическое и маркировочное
Тканевая	Натуральный каучук, полиизобутилен и др.	Бязь или миткаль	Технологическое
ПХВ изоляционная	Перхлорвиниловая смола, канифоль и др.	Пластикат	Для ремонта и срачивания кабельных оболочек
ПХВ для изоляции газо-нефте-продуктов		Морозостойкий пластикат	Обмотка трубопроводов для защиты от блуждающих токов

6.2. Состав и обозначение лакокрасочных материалов

Лакокрасочные материалы представляют собой композиции, состоящие из пленкообразующего вещества, растворителей, наполнителей, пиг-

ментов и других компонентов, которые после нанесения и сушки образуют на поверхности изделия твердое покрытие.

Основные функции лакокрасочных покрытий: защита металлических поверхностей от коррозии, а некоторых неметаллических материалов (древесины, пластмасс и др.) от увлажнения и гниения, придание им декоративного вида и специальных свойств (электроизоляционных, светоотражательных, теплоизлучательных и др.).

По составу лакокрасочные материалы подразделяются на лаки, эмали, грунты и шпатлевки.

Лаками называются растворы природных или синтетических пленкообразующих веществ в органических растворителях. Кроме пленкообразующего вещества, они могут содержать пластификаторы, стабилизаторы и другие функциональные добавки. После нанесения тонкого слоя на поверхность и высыхания лаки образуют прозрачные покрытия.

Эмали представляют собой суспензии пленкообразующего вещества с пигментами, наполнителями и функциональными добавками. После нанесения на поверхность и высыхания эмали образуют непрозрачные покрытия.

Грунты являются основой, которую наносят на окрашиваемую поверхность с целью защиты ее от коррозии, создания хорошей сцепляемости с подложкой и последующими слоями лакокрасочного покрытия. Грунт содержит пленкообразующее вещество и 70...80% пигментов, которые определяют его антикоррозионные свойства. Различают грунты:

1) *пассивирующие*, обладающие свойствами поддерживать поверхность металла под слоем грунта в пассивном состоянии за счет образования прочных оксидных пленок, для чего в его состав вводят в качестве наполнителей хроматы цинка, калия, бария и других элементов;

2) *протекторные*, осуществляющие катодную защиту металла за счет металлических пигментов с меньшим химическим потенциалом по отношению к потенциалу защищаемого материала (цинковая пыль для стали);

3) *изолирующие*, с инертными наполнителями, защищающими поверхность металла за счет плотной пленки, обладающей малой влагонепроницаемостью (битумные грунты, сурик, цинковые белила);

4) *фосфатирующие*, создающие на поверхности металла фосфатную пленку, которая улучшает адгезию и противокоррозионные свойства покрытия.

Шпатлевки представляют собой композиции пастообразной консистенции, состоящие из пленкообразующего вещества, наполнителей и пигментов, причем последние составляют до 200% по отношению к массе пленкообразующего. Шпатлевки применяются для выравнивания окрашиваемых поверхностей и исправления мелких дефектов. Толщина наносимого слоя в большинстве случаев не должна превышать 0,4 мм. Для шпатлевок на основе полиуретановых и эпоксидных смол толщина слоя может быть до 1,0 мм. При необходимости устранения более глубоких дефектов нужно наносить несколько слоев шпатлевки, каждый последующий после полного высыхания предыдущего.

Основой лакокрасочных материалов являются *пленкообразующие вещества*, способные образовывать тонкие прочные монолитные полимерные пленки. В качестве пленкообразующих применяют различные растительные масла, смолы, эфиры целлюлозы. Для получения лака их растворяют в соответствующих растворителях – летучих органических жидкостях, близких им по полярности. Так, полярные пленкообразователи, содержащие -ОН группы, например феноло-формальдегидные смолы, растворяют в полярных растворителях – спиртах. *Неполярные и слабополярные пленкообразующие* (высыхающие масла, битумы) растворяют в неполярных и слабополярных растворителях: бензине, скипидаре, уайт-спирите и т.д.

Растворителями служат органические жидкости, которые не вызывают химических превращений пленкообразующего и испаряются в процессе пленкообразования. В зависимости от температуры кипения различают низко – (ниже 100°C), средне – (100...150°C) и высококипящие (до 250°C) растворители. Многие лакокрасочные материалы содержат смеси нескольких растворителей.

Пигменты придают эмалям цвет и укрывистость, т.е. способность перекрывать цвет подложки.

Наполнители вводят в состав эмалей для улучшения их малярно-технических свойств, повышения прочности, влаго-, свето-, термостойкости и др., а также с целью экономии пигментов. В качестве наполнителей используются неорганические тонкодисперсные порошки – мел, тальк, синтетические продукты.

Пластификаторы улучшают технологические свойства лакокрасочного материала, расширяя область его высокоэластического состояния. Довольно часто для этих целей используют дибутилфталат (ДБФ).

Сиккативы ускоряют высыхание лаков и эмалей, приготовленных на основе растительных масел. Они представляют собой линолеаты, резинаты, нафтенаты кобальта, марганца, свинца, реже цинка, кальция и других элементов.

Стабилизаторы замедляют окисление, деструкцию и другие процессы, ухудшающие физико-механические свойства покрытий.

В зависимости от пленкообразующего вещества лакокрасочные материалы подразделяются на *смоляные, эфирцеллюлозные* (нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные), *маслосодержащие* (битумно-масляные), *канифольные* и др.

Маркируют лакокрасочные материалы знаками пяти групп. Первая группа знаков определяет вид лакокрасочного материала (пишется обычным словом) «лак», «эмаль», «грунт», «шпатлевка». Вторая группа характеризует пленкообразующее вещество (основу лакокрасочного материала) и обозначается обычно двумя буквами: КТ – канифольное, БТ – битумно-масляное, ГФ – глифталевое, ПФ – пентафталевое, ФА – фенольно-алкидное, КЧ – каучуковое, АК, АС – полиакриловое, ВА – поливинилацетатное, МА – масляное, НЦ – нитро-целлюлозное, ХВ, ХС – перхлорвиниловое и др. Третья группа определяет категорию, к которой относится лакокрасочный материал по его преимущественному назначению, и обозначается цифрой: 1 – атмосферостойкий; 2 – стойкий внутри помещения; 3 – радиационностойкий; 4 – водостойкий; 5 – специальный (для кож, резин, светостойкий и т.д.); 6 – масло-бензостойкий, 7 – стойкий к химическим средам; 8 – термостойкий; 9 – электроизоляционный; 0 – грунтовка; 00 – шпатлевка. Четвертая группа определяет порядковый номер, присвоенный данному составу эмали, пятая группа – цвет, например черный.

По условиям эксплуатации лакокрасочные покрытия подразделяются на стойкие внутри помещения (П) при температуре $25 \pm 10^\circ\text{C}$ и влажности $65 \pm 15\%$; атмосферостойкие (А) при температурах от -60 до $+60^\circ\text{C}$, влажности до 95% при 25°C , допускается морской туман и загрязнение промышленными газами; химически стойкие в агрессивных парах и газах (Х); стойкие к воздействию кислот (ХК) и щелочей (ХЩ); водостойкие (В); стойкие в морской воде (ВМ); термостойкие (T_{350}), внизу указана допускаемая температура эксплуатации, $^\circ\text{C}$; маслостойкие (М); бензостойкие (Б); электроизоляционные (Э).

Условия эксплуатации указываются после обозначения типа лакокрасочного материала, например эмаль ПФ-28 черная – ПХК. Так как основ-

ные свойства лакокрасочных материалов и покрытий определяются пленкообразующими веществами, далее рассматривается классификация по этому признаку.

6.3. Маслосодержащие лакокрасочные материалы

Пленкообразующими веществами являются растительные масла, чаще всего совмещенные со смолами и битумами. Растительные масла по химическому составу представляют собой сложные эфиры глицерина и предельных и непредельных жирных кислот – глицериды. По способности высыхать растительные масла делят на три группы.

1. *Высыхающие* (льняное, тунговое) – содержат 75...85% непредельных жирных кислот. При $20\pm 2^\circ\text{C}$ высыхают за 6...7 суток.

2. *Полувысыхающие* (подсолнечное, ореховое) – сохнут медленно. Непредельных кислот в них 55...75%.

3. *Невысыхающие* масла (касторовое, оливковое) – не сохнут в нормальных условиях. Содержание непредельных кислот составляет до 10%.

Высыхание происходит за счет присоединения кислорода воздуха по месту двойных связей, т.е. такие масла относятся к термореактивным пленкообразователям. Для ускорения сушки применяют нагрев до 100°C и катализаторы (сиккативы) в виде оксидов поливалентных металлов (свинца, марганца, кальция). Время отверждения снижается с 7 сут до 24 часов.

Масляные лакокрасочные покрытия не размягчаются при нагревании, не растворяются в воде, стойки к воздействию трансформаторного масла даже при нагревании, однако набухают в воде и при длительном их взаимодействии. Удельное объемное электрическое сопротивление масляных лаковых покрытий $\rho_v = 1014...1017 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, а электрическая прочность $E_{пр} = 50...60 \text{ кВ/мм}$.

Для пропитки тканей, лакобумаг и обмоток трансформаторов используют в чистом виде смесь масел с битумами и смолами.

Битумы представляют собой смесь углеводов различной консистенции. В лакокрасочной промышленности применяются в основном тугоплавкие битумы с температурой плавления $125...150^\circ\text{C}$. Они являются слабополярными веществами с высокими диэлектрическими свойствами:

$\rho_v = 1017...1019 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $E_{пр} = 10...30 \text{ кВ/мм}$; $\varepsilon = 2,5...3,0$; $\text{tg}\delta = 0,005...0,010$.

Масляно-битумные (МА) покрытия относятся к покрытиям горячей сушки. Пленки их обладают высокой влагостойкостью к действию кислот, но они не маслостойки. Теплостойкость покрытий составляет до 130°C , удельное объемное электрическое сопротивление $\rho_v = 1015...1016 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, электрическая прочность $E_{пр} = 65 \text{ кВ/мм}$. Применяются для электроизоляции, пропитки обмоток электрических машин, трансформаторов, катушек, лакотканей, защитных покрытий.

Масляно-глифталевые (ГФ) (в лакокрасочной промышленности их называют глифталевыми) покрытия более теплостойки (до 155°C), эластичны, стойки к тепловому старению и имеют более высокую адгезию, чем масляные. Сушка покрытий производится при температуре $100...150^\circ\text{C}$. Диэлектрические свойства покрытий: $\rho_v = 1015...1016 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $E_{пр} = 40...65 \text{ кВ/мм}$. Их применяют для пропитки обмоток электрических машин, трансформаторов, склейки слюды малогабаритных статоров и якорей, для защитных покрытий приборов и машин, работающих в помещении, в атмосферных условиях в умеренном поясе и в тропиках.

Масляно-пентафтальные (ПФ) покрытия имеют высокие электроизоляционные свойства, по механическим свойствам и скорости сушки превосходят глифталевые.

Водоэмульсионные лаки (аквалиты) представляют собой эмульсию из диспергированных в воде масляных и других лакокрасочных композиций. Преимущество их перед другими лакокрасочными материалами – исключение из состава огнеопасных и токсичных растворителей. Сушка ведется при повышенных температурах. Эти лаки применяются для окраски автомобилей, пропитки обмоток электрических машин и трансформаторов.

6.4. Смоляные лаки и эмали

Полихлорвиниловые смолы (ПХВ) являются полярными, поэтому электроизоляционные свойства их невысоки. Они негорючи, стойки к действию кислот и щелочей, хлору, аммиаку, однако имеют низкую адгезию к металлам, невысокую теплостойкость (до 80°C) и плохую растворимость.

Для повышения адгезии и улучшения растворимости ПХВ хлорируют. Смолы с содержанием хлора до 65...60% называются *перхлорвиниловыми* (в ПХВ хлора 56%). Время высыхания слоя лакокрасочного материала на их основе составляет 2...3 ч при 18°C . Покрытия имеют $\rho_v = 1015...1017$

Ом·м, $E_{пр} = 35 \dots 50$ кВ/мм, высокую стойкость к бензину, маслам и воде, сохраняя эти свойства при температурах от -60 до $+100^\circ\text{C}$. Возможно нанесение их путем распыления. К недостаткам перхлорвиниловых покрытий можно отнести изменение цвета под влиянием атмосферы и большой удельный расход лакокрасочного материала. Применяют эти смолы для покраски приборов, работающих в условиях агрессивных сред и тропиков. В авиации широко используют лаки КС-77, КС-76, эмали ХВ-1100, ХВ-110, ХС-710 для окраски алюминиевых и магниевых сплавов.

Кремнийорганические лаки длительно сохраняют свои свойства при температурах до 200°C , наполненные диоксидом титана, оксидом сурьмы – до 260°C , а с оксидом алюминия (пудрой) – до 550°C ; химически инертны, обладают очень высокой водомаслостойкостью, бензостойки, а также стойки к действию растворов солей, озона, плесени, обладают хорошими диэлектрическими свойствами ($\rho_v = 10^{15}$ Ом·м, $E_{пр} = 50 \dots 65$ кВ/мм при 20°C и $\rho_v = 10^{13} \dots 10^{14}$ Ом·м, $E_{пр} = 25$ кВ/мм при 200°C). К их недостаткам можно отнести низкую адгезию, необходимость сушки при повышенных температурах, а также невысокую прочность. Для улучшения адгезии кремнийорганические лаки модифицируют полиэфирами.

Кремнийорганические лаки нашли широкое применение в качестве электроизоляционных материалов для изделий с повышенной температурой эксплуатации. Например, лак КО-08 сохраняет диэлектрические свойства до температуры 350°C . Допускаемая температура 400°C для лака КО-814. До 500°C выдерживают покрытия на основе лаков КО-88 и КО-813.

Органосиликатный лакокрасочный материал ВН-30ДТС представляет собой суспензию измельченных силикатов и оксидов металлов в толуольном растворе кремнийорганических полимеров. Высыхают покрытия за 24 ч при $15 \dots 35^\circ\text{C}$. Температура эксплуатации от -60 до $+300^\circ\text{C}$. Применяют эти материалы для окраски металлических и неметаллических поверхностей, опор контактных сетей и линий электропередач, электрофильтров, защиты деталей радиоаппаратуры от атмосферной коррозии. Срок службы – не менее 12 лет.

Нитроцеллюлозные лаки и эмали получили широкое применение благодаря быстрому высыханию, что способствует созданию поточных методов окрашивания массовых изделий с образованием пленки с хорошими диэлектрическими свойствами, высокими твердостью, бензо-

маслостойкостью и удовлетворительной атмосферостойкостью. Недостатками покрытий являются пониженная адгезия, невысокая термостойкость и легкая воспламеняемость. Для металлических поверхностей, эксплуатируемых в холодном, умеренном и тропическом климате, применяют эмали НЦ-11, для работы в атмосферных и других условиях – НЦ-132. Долговечность покрытий обычно составляет 2...3 года.

Эпоксидные лаки и эмали обладают высокой адгезией, малой пористостью, хорошей атмосферостойкостью, влаго- и термостойкостью (от -60 до $+200^\circ\text{C}$). Устойчивы к действию щелочей и кислот средней концентрации. Выпускаются обычно в виде 2-компонентных композиций: собственно лак или эмаль и отвердитель, вводимый непосредственно перед употреблением (отвердители – полиамины, фенолы и др.). Покрытия обладают хорошими электроизоляционными свойствами ($\rho_v = 10^{15} \dots 10^{17}$ Ом·м, $E_{пр} = 50 \dots 80$ кВ/мм). Применяются эти материалы для электроизоляции проводов, окраски металлических поверхностей приборов и электроаппаратуры, эксплуатируемых в различных климатических условиях. Для тропических условий используют эпоксидно-меламиновые эмали.

Полиуретановые лаки отличаются хорошей адгезией к металлам, высокой атмосферостойкостью. Благодаря хорошим электроизоляционным свойствам ($\rho_v = 10^{16}$ Ом·м, $E_{пр} = 70$ кВ/мм), водо- и теплостойкости они получили широкое применение для эмалирования проводов, пропитки хлопчатобумажной и стекловолнистой изоляции.

Полиимидные покрытия стойки к действию тепловых ударов от -190 до $+340^\circ\text{C}$, обладают длительной термостойкостью при температуре до 260°C , кратковременной – до 500°C , высокими физико-механическими свойствами, устойчивы к действию растворителей, стойки к кислотам, но разрушаются в щелочах, обладают хорошими диэлектрическими свойствами, мало изменяющимися в диапазоне температур до 300°C ($\rho_v = 10^{15} \dots 10^{16}$ Ом·м, $E_{пр} = 95 \dots 200$ кВ/мм). Могут работать в вакууме до $10^{-7} \dots 10^{-8}$ Па при температурах до 370°C , негорючи. Используют полиимидные лакокрасочные материалы для электроизоляции электродвигателей, работающих при температурах до 250°C , окраски самолетов и др.

Покрытия на основе *акриловых смол* (АК, АС) эластичны, стойки к ударным нагрузкам, обладают хорошей адгезией к металлам, сохраняют свои свойства при работе в условиях 98...100% влажности при темпера-

туре 55...60°C. При наличии эпоксидного грунта стойкость покрытия составляет до 3-6 лет.

Полиэфирные лакокрасочные материалы имеют высокую твердость, хороший блеск, удовлетворительную стойкость к истиранию, но малоэластичны, нестойки к ударным нагрузкам, обладают низкой адгезией к металлам и применяются в основном для окраски древесины.

Органодисперсные покрытия. Органодисперсии – это двухфазные системы, состоящие из коллоидных частиц полимера – пленкообразователя (химически стойкого полимера) и жидкой среды (органической жидкости). В результате термообработки удаляются жидкие компоненты, а полимерные частицы спекаются, образуя покрытие. Широко применяются ПВХ и его сополимеры. Фторсодержащие органодисперсии (из фторлаков) отличаются тепло- и морозостойкостью (от -196 до +260°C), химической стойкостью, электроизоляционными свойствами. Покрытия гидрофобны, антиадгезионны и антифрикционны. Покрытия на основе поливинилиденфторида обладают большой химической и атмосферостойкостью, устойчивы к истиранию, износу, эрозии под действием песка, пыли, не воспламеняются. Срок службы до 30 лет.

6.5. Травильные материалы

Химическое удаление окалина и ржавчины с поверхности металла основано преимущественно на их растворении, иногда с применением электрического тока.

Окалина с поверхности стали удаляется обычно травлением в кислотах. Чаще всего применяют серную, реже соляную кислоты. При растворении стали в кислотах образуется соль закисного железа и водород: $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$. Образующийся водород создает на поверхности металла небольшие пузырьки, которые своим давлением отрывают окалину от основного металла (растворение окалина в кислоте является второстепенным процессом). Для снижения потери металла и предотвращения диффузии водорода в металл (появляется водородная хрупкость) используют раствор кислоты и добавление ингибиторов, а также ограничивают время травления и температуру раствора. Для травления стали применяют 5...20%-ную серную кислоту, в которую добавляют ингибитор S9 в концентрации 8 г/л или ингибитор DBS – 1 г/л раствора). Температура раствора составляет 30...40°C, время травления 10...20 мин, предельно до-

пустимое содержание железа в растворе – 90 г/л. После травления детали промывают в 0,5...1%-ном растворе соды.

При травлении соляной кислотой получают более чистую поверхность. Концентрация раствора составляет 10...20% соляной кислоты, 8 г ингибитора S9 на 1 л раствора, процесс протекает при нормальной температуре, время травления 10...20 мин.

Травление в фосфорной кислоте имеет ряд преимуществ по сравнению с серной и соляной кислотами: меньше опасность перетравления, отсутствует надобность в ингибиторах, поверхность после травления менее склонна к коррозии (на поверхности образуется тонкая пленка фосфатов). Температура и концентрация раствора такие же, как и при травлении в серной кислоте.

Травление может осуществляться не только погружением, но и натиранием деталей (для крупных конструкций).

В отличие от травления стали при травлении чугуна встречаются две трудности: остатки песка на поверхности отливок и пористость чугуна. Единственной кислотой, способной растворять кремнистые соли и песок, является плавиковая кислота. Применяют раствор, содержащий 10% соляной кислоты и не более 10% плавиковой. После травления применяют нейтрализующую промывку в 1%-ном растворе соды в течение 5 мин.

Для травления высоколегированных сталей применяют водный раствор, содержащий 13% соляной, 4% серной и 9% азотной кислот, рабочая температура до 85°C. Зачастую серную кислоту заменяют фосфорной или плавиковой кислотами (до 10%).

Для травления меди и ее сплавов используют следующие составы на 1 л воды: 160 г концентрированной серной кислоты, 50 г хромпика, температура до 80°C; 100 г концентрированной серной кислоты и 100 г сернокислого железа, температура 50...80°C. При опаливании (детали погружают на короткое время в крепкий раствор смеси кислот) применяют следующие растворы: 3 л концентрированной азотной кислоты, 1 л воды, 110 г поваренной соли; для заключительного чистового опаливания – концентрированные азотная и серная кислоты в пропорции от 1:2 до 2:1 и небольшое количество калиевого хромпика или хромовой кислоты (около 1%).

Травление алюминия производится в 10...20%-ном растворе едкого натра при температуре 50...80°C на протяжении 2 мин. При травлении интенсивно выделяется водород, отделяющий с поверхности нераствори-

мые загрязнения. Для улучшения внешнего вида деталей и более равномерного хода травления на 100 г едкого натра добавляют 20 г поваренной соли или 20...50 г фтористого натрия. После травления для осветления поверхностей деталей применяют кратковременное погружение в концентрированную или разбавленную до 50% азотную кислоту (иногда с добавлением 25% плавиковой кислоты). Для травления алюминия также применяют растворы кислот: на 1 л воды – 65 г хромового ангидрида, 350 г серной кислоты; на 1 л воды – 175 г хромового ангидрида, 35 г серной кислоты, время травления 0,5...2 мин, температура раствора 60...70°C. Перед травлением детали обезжиривают. Сплавы алюминия, содержащие марганец, травятся в течение 2...5 мин при комнатной температуре в водном растворе 8% плавиковой и 13% азотной кислот.

Перед нанесением органических покрытий после травления алюминиевые сплавы погружают на 5...10 мин (или протирают) в раствор, содержащий 10% фосфорной кислоты, 40% бутилалкоголя, 30% изопропилового спирта, 20% воды. После травления производят промывку и сушку деталей.

Для травления магния и его сплавов используют слабые растворы (7...10%) любых кислот, кроме плавиковой, с погружением деталей на несколько секунд, последующей промывкой и просушкой. Для травления магния наиболее подходит хромовая кислота. Для этого применяют 15%-ный раствор хромового ангидрида в дистиллированной воде при температуре 90...100°C, время погружения 1...5 мин.

Хорошую очистку стальных деталей от продуктов коррозии можно достичь в растворах травления с применением электрического тока, при этом используют в основном два способа электролитического травления: травление в щелочном цианистом электролите и анодное травление в серной кислоте.

При травлении в щелочном цианистом электролите направление тока постоянно изменяют, т.е. деталь попеременно становится то анодом, то катодом. Достоинством этого метода является абсолютное удаление с поверхности стали продуктов коррозии независимо от наличия на поверхности остатков жировых загрязнений. Время травления составляет 10...60 мин. Состав электролита в г/л: 30...10 NaOH, 20...50 NaCN, 10 NaCl. Температура раствора 45°C, плотность тока 3...6 А/дм², режим чередования 45...50 с деталь катод, 10...15 с – анода, противоположным электродом является стальная пластина.

Анодное травление стальных деталей в растворе серной кислоты осуществляется непосредственно перед их защитным покрытием с целью улучшения адгезии. Время травления может составлять от нескольких секунд до 2 мин и зависит от плотности тока (до 20 А/дм²), температуры раствора, концентрации раствора (до 70%). Травление производят в ванне, футерованной свинцом, катодный электрод также свинцовый.

Раздел II ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Глава 7. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

7.1. Материалы для режущих инструментов

В основу режущих инструментов положен режущий клин, состоящий из двух поверхностей, сходящихся в острую кромку. При перемещении клина относительно обрабатываемого материала он давит на заготовку и разделяет ее на две неравные части, меньшая из которых деформируется и превращается в стружку. Режущий клин при работе подвергается истиранию, тепловым воздействиям и силовым нагрузкам. Внедрение клина в заготовку возможно лишь при преобладающей прочности материала клина.

Материалы для режущих инструментов подразделяются на следующие основные группы: инструментальные стали; твердые сплавы; минералокерамика и керметы, сверхтвердые материалы.

Инструментальные стали в зависимости от химического состава делятся на углеродистые, легированные и быстрорежущие. По твердости в холодном состоянии все эти стали мало отличаются друг от друга, основное их отличие в теплостойкости. Углеродистые стали (У10А, У12А и др.) имеют низкую теплостойкость – до 200...250°C. У легированных сталей (имеют около 1% легирующих элементов: вольфрама, хрома, ванадия и др.) – большая теплостойкость – до 300°C (марки 9ХС, ХВГ, Х6ВФ и др.). Углеродистые и легированные стали применяются для изготовления инструментов, работающих с малыми скоростями резания: плашки, метчики, развертки и слесарные инструменты.

Быстрорежущие стали имеют содержание вольфрама до 6...18% и большое количество легирующих элементов: Р – вольфрам, К – кобальт, М – молибден, Ф – ванадий и др. Быстрорежущие стали умеренной тепло-

стойкости – до 620...630 °С (марки Р9К10, Р9М4К8, Р18Ф2К8М и др.) – предназначены для обработки труднообрабатываемых материалов: жаропрочных и титановых сплавов, нержавеющей сталей и др. Стали с высокими теплостойкостью (до 700...730°C) и твердостью (до 68...69 HRC) легированы большим количеством кобальта (до 16...25%), вольфрама (до 11...20%) и молибдена (до 4...7%). Эти стали (марки В18М7К25, В14М7К25 и др.) используются при резании труднообрабатываемых материалов.

Твердые сплавы изготавливаются методом порошковой металлургии. Основными компонентами твердых сплавов являются карбиды вольфрама, титана и тантала, а в качестве связки используются кобальт, никель, молибден. Теплостойкость твердых сплавов различных марок составляет 800...1000°C, твердость – до 86...90 HRC, прочность при сжатии – до 3,5 ГПа, прочность при изгибе – до 1,8 ГПа. Инструменты из твердых сплавов работают на высоких скоростях резания. В зависимости от состава карбидной фазы твердые сплавы делятся на четыре группы: однокарбидные (группа ВК), двухкарбидные (группа ТК), трехкарбидные (группа ТТК) и безвольфрамовые (группа ТН).

Сплавы группы ВК содержат карбид вольфрама и кобальт, являющийся своеобразной связкой. Марки ВК3, ВК4 (96% WC и 4% Co) имеют высокую твердость, но более хрупкие, используются для чистовой обработки, а сплавы (ВК8, ВК10) с большим содержанием кобальта, как наиболее вязкие, применяются при черновой обработке материалов. Физико-механические свойства твердых сплавов во многом определяются размером зерен порошков, применяемых для спекания. Большой износостойкостью обладают мелкозернистые (ВК-М и др.) и особомелкозернистые (ВК6-ОМ, ВК10-ОМ и др.) сплавы, которые для повышения режущих свойств зачастую легируются хромом (ВК6-ХОМ, ВК15-ХОМ и др.).

Двухкарбидные твердые сплавы содержат карбиды вольфрама, титана и кобальт, например сплав марки Т30К4 содержит 30% TiC, 4% Co и 66% WC. Сплавы группы ТК имеют большую твердость и хрупкость, поэтому применяются при получистовой и чистовой обработке высокотвердых материалов.

Трехкарбидные сплавы дополнительно содержат карбид тантала TaC. Например, сплав ТТ20К9 содержит 20% (TiC + TaC) + 9%Co + 71%WC. Сплавы группы ТК превосходят двухкарбидные по прочности, обладают высокой износостойкостью, хорошо сопротивляются ударным нагрузкам

и вибрациям, поэтому их используют при строгании, фрезеровании и черновой обработке с большими сечениями срезаемого слоя.

Безвольфрамовые твердые сплавы явились следствием дефицита вольфрама и содержат в своем составе карбид или кабонитрид титана и тугоплавкие связки (обычно никельмолибденовые). Безвольфрамовые сплавы (марки КНТ-16, ТН 20, ТН 30 и др.) имеют более низкие прочность, теплопроводность, склонны к разупрочнению при повышенных температурах, но имеют и ряд положительных свойств: низкий коэффициент трения, пониженную склонность к адгезивному взаимодействию с обрабатываемым материалом. Их применяют при обработке конструкционных и малолегированных сталей и чугунов, а также некоторых цветных металлов.

Режущие инструменты, оснащенные минералокерамикой, обладают высокими твердостью (92...94 HRA), теплостойкостью (до 1200°C) и износостойкостью. Наибольшее распространение получила керамика оксидного и оксидно-карбидного типов. Оксидная керамика содержит до 99% Al_2O_3 (например, марка ЦМ 332). Ее используют только для чистой и получистой обработки материалов на виброустойчивых станках. Оксидно-карбидная керамика получается добавлением к основе (Al_2O_3) одинарных и сложных карбидов титана, вольфрама и молибдена (до 40%). Выпускаются керамики марок ВЗ, ВОК-60, ВОК-63 в виде пластин, которые крепятся к корпусу инструмента.

К группе сверхтвердых материалов относятся естественные и искусственные алмазы и нитрид бора.

Твердость алмаза составляет порядка 100 ГПа, он обладает высокой износостойкостью, малым коэффициентом трения, хорошей теплопроводностью, однако имеет относительно низкую теплостойкость (800°C) и большую хрупкость ($\sigma_n = 0,3...0,6$ ГПа). В качестве синтетических алмазов используют поликристаллы марок баллас, карбонадо, карболит (по твердости они близки твердости природных алмазов, а по прочности на изгиб в 2-3 раза превосходят их). Инструменты из синтетических алмазов показывают высокие режущие свойства при обработке титановых сплавов, высококремнистых алюминиевых сплавов, медных сплавов, стеклопластиков, композиционных материалов, минералокерамики и других материалов. Для обработки сталей алмазные инструменты непригодны ввиду высокой химической активности, которая приводит к интенсивному износу инструмента. На ос-

нове синтетических алмазов выпускают композиционные материалы, например пластины марок АТП (алмазно-твердосплавные), БПА (бипластины алмазные).

Кубический нитрид бора (КНБ) – синтетический материал, по твердости (90 ГПа) близкий к твердости алмаза, а по теплостойкости (1500°C) значительно превосходящий все инструментальные материалы. КНБ химически нейтрален к железу и углеродистым сплавам. Промышленностью выпускается целая гамма композитов на основе КНБ: Эльбор-Р, гексинит, белбор и др. Они синтезируются в виде цилиндрических столбиков диаметром 4...8 мм и высотой 3...6 мм. Основное применение режущие инструменты на основе КНБ нашли при обработке сталей и чугунов различной твердости, причем зачастую не требуется операция последующего шлифования. Сравнительные характеристики различных режущих инструментов представлены в табл. 36.

Таблица 36

Физико-механические свойства некоторых режущих материалов

Материал	Марка	Микро- твер- дость, МПа	Теп- лостой- кость, К	Предел прочности, МПа		Удар- ная вяз- кость, Дж/м ² × ×10 ⁻⁶	Коэффи- циент от- носи- тельной скорости резания
				На изгиб	На сжатие		
Твердые сплавы Быстроре- жущая сталь Минерало- керамика Кубиче- ский нит- рид бора Легиро- ванная сталь Углероди-	Т15К6; ВК8	27500 15700	1176 1123	1130 1570	3900 4410	2,94 5,88	4 3
	P18	13200	888	3530	3530	9,81	1
	ЦМ332	22500	1473	390	1470	0,98	5...7
	Эльбор	90700	1573	785	—	—	6...8
	ХВГ	11800	503	3430	3430	9,81	0,6

стальная сталь	У10А	12800	493	2940	2940	9,81	0,4
Алмазы	А	98700	973	290	1960	–	1,5

К одному из видов резания относится абразивная обработка материалов: разрезка очень твердых материалов; зачистка сварных швов; заточка лезвийных режущих инструментов; шлифование, хонингование, притирка, полирование и др. Для изготовления абразивных инструментов используются частицы материалов различной зернистости, обладающие высокой твердостью и способностью резания. Абразивные инструменты бывают со связанными зёрнами (шлифовальные круги, головки, бруски, ленты) и в виде несвязанных – свободных зёрен (пасты, суспензии, порошки). Для изготовления абразивных инструментов используют главным образом искусственные абразивные материалы: электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, синтетические алмазы, кубический нитрид бора. Основная составляющая электрокорунда – кристаллический оксид алюминия Al_2O_3 (микротвердость 18,6...23 ГПа, плотность 3,93...4,01 г/см³). Существует несколько разновидностей электрокорунда, отличающихся режущими свойствами, прочностью и размером зёрен.

Карбид кремния SiC обладает более высокой твердостью (до 32...35 ГПа), но имеет высокую хрупкость и малую прочность, поэтому применяется для обработки хрупких материалов – чугунов, бронзы, титановых и тугоплавких сплавов, заточки твердо-сплавных инструментов.

Карбид бора B_4C имеет высокую твердость (39...44 ГПа), большую хрупкость и применяется в виде порошков для доводочных процессов и при ультразвуковой обработке хрупких материалов.

Для изготовления абразивных инструментов также используются синтетические алмазы и кубический нитрид бора.

По зернистости абразивные материалы подразделяются на четыре группы: шлифзерна, шлифпорошки, микропорошки и тонкие микропорошки, которые в свою очередь тщательно подразделяются по номерам зернистости в зависимости от назначения абразивного материала.

Эффективность работы абразивных зёрен очень сильно зависит от связующего вещества: неорганические (керамическое, магнезиальное, силикатное), органические (бакелитовое, глифталевое, вулканическое), металлические (порошки олова, меди, алюминия + наполнители).

7.2. Элементы режима резания

При обработке материалов резанием различают обрабатываемую поверхность, обработанную и поверхность резания (пример обработки точением дан на рис. 6). *Обработанная поверхность* получается после снятия стружки и ее вид определяется сочетанием рабочих движений. Главное движение определяет быстроту деформирования слоя, снимаемого с заготовки, а скорость этого движения называют *скоростью резания* V . Движение, предназначенное для врезания инструмента в новые слои материала заготовки, называется *подачей*, скорость подачи обозначают S . *Поверхность резания* образуется на обрабатываемой детали непосредственно режущей кромкой и зависит от формы клина режущего инструмента.

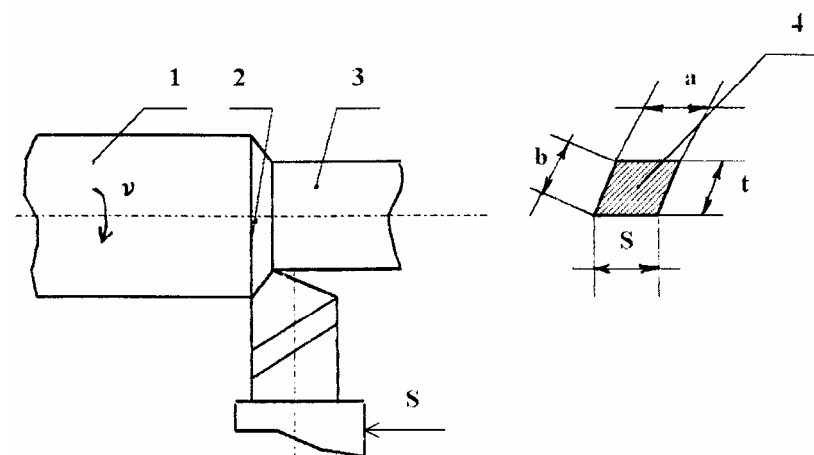


Рис. 6. Поверхности резания и сечение срезаемого слоя:
1 – обрабатываемая поверхность; 2 – поверхность резания;
3 – обработанная поверхность; 4 – сечение срезаемого слоя

Рабочие движения могут быть непрерывными (точение, сверление, фрезерование) или прерывистыми (строгание). При круглом шлифовании главное движение осуществляется непрерывно шлифовальным кругом, а подача – прерывисто. Главное рабочее движение всегда одно, а подач может быть несколько (например, поперечная подача $S_{\text{поп}}$, продольная подача $S_{\text{прод}}$).

Скорость резания при вращательном главном рабочем движении определяется окружной скоростью точки, взятой на наибольшем диаметре заготовки, м/мин:

$$V = \pi Dn/1000,$$

где D – диаметр заготовки, мм; n – частота вращения, мин^{-1} .

При продольном точении цилиндрических заготовок скорость резания постоянна, а при поперечной подаче (подрезка торца, отрезка) окружная скорость уменьшается к центру детали.

При шлифовании скорость резания определяется по этой же формуле, где D – диаметр шлифовального круга.

Подача S – величина перемещения режущей кромки резца в направлении подачи в единицу времени или за один оборот заготовки.

Глубина резания t (см. рис. 6) – размер срезаемого слоя, определяемый в направлении радиуса заготовки как полуразность диаметра заготовки D и диаметра обработанной поверхности d ($t = (D-d) / 2$). Сечение срезаемого слоя может быть определено по формуле:

$$f = t \cdot S = a \cdot b,$$

где a – толщина срезаемого слоя в направлении, нормальном к режущей кромке; b – ширина срезаемого слоя (определяется шириной поверхности резания).

Параметры t , S являются технологическими и характеризуют выбранный режим резания, параметры a , b являются физическими и характеризуют параметры стружки.

Поскольку процесс резания осуществляется по винтовой линии, то на обработанной поверхности образуются следы («гребешки») в виде винтовых канавок, размеры которых зависят от величины продольной подачи и радиуса округления вершины резца. Естественно, чем больше радиус округления и меньше величина подачи, тем меньше шероховатость поверхности.

При увеличении V , S и t увеличивается объем материала, снимаемый в единицу времени, т.е. увеличивается производительность. Но наступает момент, когда дальнейшее повышение уровня режима резания приводит к быстрому износу инструментов, узлов станка и оборудования. Основным фактором здесь является расход режущего инструмента за счет абразивного воздействия, выкрашивания и осыпания. Износ инструмента происходит по определенным закономерностям. Вначале прирабатывается и несколько округляется режущая кромка. Постепенно величина износа достигает определенного значения, допустимого без ухудшения чистоты и точности обработки. Дальнейшая работа приводит к резкому возрастанию

износа по задней и передней поверхностям режущего клина и его разрушению. Время работы резца до допустимой величины износа, определяемой критерием затупления, называется периодом стойкости T и выражается в минутах (секундах), в единицах длины пути режущей кромки или по величине срезаемой площади. Для определения оптимального износа пользуются различными критериями, однако на практике в основном применяют органо-лептический контроль (по внешнему осмотру режущей кромки, по характерному звуку при резании, по температуре режущего инструмента и т.п.), эффективность которого зависит от профессиональной подготовки и производственного опыта специалиста.

Характеристики режимов резания (T , V , S , t и др.) определяются обрабатываемостью материала, под которой понимается комплекс характеристик, определяющих способность материалов ограничивать производительность и качество обработки, например, величины износа и стойкости режущих инструментов, оптимальные значения геометрических параметров режущей части инструментов и режимов резания, физико-химические свойства обрабатываемого и инструментального материалов и др.

Выбор режимов резания определяется по справочникам, составленным на основе практического опыта и математических моделей, в которых указывается (в зависимости от обрабатываемого материала): материал режущего инструмента, углы его заточки, характеристики режимов резания, потребность в применении охлаждающей или смазывающей жидкостей и т.п.

7.3. Образование обработанной поверхности и стружки

Процесс резания можно рассматривать как процесс местного сжатия металла резцом с последующим образованием стружки. Слой материала, подлежащий срезанию, находится в сложнапряженном состоянии; упругим и пластическим деформациям подвергаются также близлежащие слои материала впереди резца и под резцом. В процессе резания различных материалов могут образовываться следующие основные виды стружек: сливные (непрерывные), скалывания (элементобразные) и надлома. Сливные стружки образуются при резании вязких и мягких материалов (мягких сталей, латуни, древесных материалов, большинства пластмасс и др.) и являются наиболее распространенными. Стружки надлома образуются при резании хрупких материалов (серых чугунов, бронзы и др.) и состоят из отдельных, как бы вырванных элементов, почти не связанных

между собой. Обработанная поверхность при такой стружке получается шероховатой, неровной. Стружки скалывания занимают промежуточное положение между сливными стружками и стружками надлома и образуются при обработке некоторых сортов латуни, твердых сталей и других материалов с большими подачами и относительно малыми скоростями резания. С изменением условий обработки стружка скалывания может перейти в сливную, и наоборот. Образованию сливной стружки способствуют увеличение переднего угла режущего инструмента, уменьшение толщины среза, повышение скорости резания.

Характер и степень деформации при образовании стружки определяют шероховатость обработанной поверхности, количество тепла, выделяющегося при резании, форму стружки, износ режущего инструмента и другие явления, происходящие при резании материалов.

В процессе резания пластическая деформация происходит не только в срезаемом слое, но и в поверхностном слое основной массы материала; пластическое деформирование вызывает изменение свойств материала. Например, при обработке металлов происходит повышение его твердости, снижаются относительное удлинение и ударная вязкость. Глубина наклепа (упрочнения) уменьшается при увеличении скорости резания. Наибольшее упрочнение получает материал стружки, причем его твердость может быть выше твердости обрабатываемого материала в 1,5-4 раза. При обработке материалов (особенно пластических) резанием происходит усадка стружки, которую можно рассматривать как интегральное выражение степени пластических деформаций материала. Усадка стружки зависит от режимов резания, геометрических параметров инструмента и физико-механических свойств обрабатываемого материала.

В некоторых случаях на передней поверхности резца около режущей кромки налипает обрабатываемый материал, образуя так называемый нарост. Причинами образования нароста являются весьма высокие удельные нагрузки и наличие около режущей кромки небольшой зоны нулевых скоростей (застойная зона в месте раздвоения материала). Твердость нароста в 2-3 раза превосходит твердость обрабатываемого материала, в результате чего сам нарост производит резание материала, являясь как бы продолжением резца. Нарост изменяет форму передней поверхности резца, что приводит к изменению режимов резания. Наростообразование не является стабильным явлением. Нарост, постепенно формируясь, достигает своего максимального значения и, разрушаясь, может быть вдавлен в обработан-

ную поверхность. Нестабильность нароста по высоте ведет к образованию неровностей на обработанной поверхности. На размеры нароста оказывают влияние многие факторы: физико-механические свойства обрабатываемого материала, режимы резания, геометрические параметры инструмента, смазочно-охлаждающая жидкость. С увеличением пластичности обрабатываемого материала размеры нароста возрастают. При обработке материалов с низкой температурой плавления и при высоких скоростях резания и подачи появление нароста возможно за счет оплавления материала.

При резании твердых материалов возникает хрупкое разрушение и трещина, которая распространяясь с большой скоростью, полностью отделяет элемент стружки от основного материала. Распространение трещин ниже линии среза приводит (даже при образовании сливных стружек) к появлению на обработанной поверхности деталей вырывов, выступов и зазубрин.

В процессе резания при определенных условиях возникают колебания (вибрации) технологической системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь). Эти вибрации оказывают вредное воздействие на процесс резания: увеличивают износ инструмента, станка и шероховатость обработанной поверхности. Причинами вибрации могут быть: неуравновешенные части станка (шкивы, зубчатые колеса, валы); неуравновешенность вращающегося инструмента (резцовые головки, фрезы, шлифовальные и заточные круги); неуравновешенность обрабатываемой детали; вибрации близко расположенного оборудования; износы в подшипниковых узлах шпинделей станков; неравномерность подачи резца за счет люфтов и износов; изменение механических свойств материала в процессе обработки; появление и срыв наростов; неравномерный припуск на обработку; следы вибраций и гребешков от предыдущего прохода и др.

Для уменьшения вибраций стремятся создать более жесткую технологическую систему СПИД. Для этой цели уменьшают длину закрепляемой детали, вылет пиноли задней бабки, вылет резца, повышают жесткость вращающихся центров, строго контролируют установку резца по центру оси обрабатываемой детали вращения, применяют люнеты и специальные виброгасители.

Таким образом, обработанная поверхность имеет сложную геометрию, а поверхностный слой детали обладает особыми физико-химико-

механическими свойствами, значительно отличающимися от свойств материала заготовки.

Основными характеристиками состояния поверхностного слоя детали после обработки резанием являются:

- шероховатость поверхности, представляет собой совокупность неровностей, образующих рельеф поверхности (наиболее распространенными параметрами оценки являются: R_z – определяемой по 10 точкам; R_a – среднеарифметическое отклонение профиля), шероховатость определяют как в продольном, так и в поперечном направлениях следам обработки;

- микротвердость обработанной поверхности (параметры оценки HRA, HRC и др.);

- величина и знак остаточных напряжений (наиболее широко используется метод реперных точек).

Остаточные напряжения образуются в основном в результате совместного действия неравномерного поля деформаций и температур на состояние материала в поверхностном слое детали. Возникающая в зоне деформации теплота может повысить локальную температуру поверхностного слоя. При температуре $0,2...0,3 T_{пл}$ возникает «отдых» (полигонизация), а при температурах более $0,4 T_{пл}$ возможны рекристаллизация и снятие деформируемого упрочнения. Нагрев поверхностного слоя в процессе резания и его охлаждение после обработки (или в перерыве обработки) детали приводят к появлению как сжимающих, так и растягивающих напряжений в разных слоях поверхности.

Увеличение скорости резания, применение смазочно-охлаждающих жидкостей, тщательная заточка инструмента, рациональный выбор режимов резания и геометрических параметров инструментов приводят к уменьшению остаточных напряжений в деталях.

7.4. Станки для обработки материалов резанием

Современные материалорежущие станки – это довольно разнообразные и широко распространенные машины, позволяющие выполнять сложные технологические процессы. Несмотря на большие достижения технологии производства высококачественных деталей, применение малоотходных технологий, роль обработки резанием и соответственно материалорежущих станков в машиностроении непрерывно возрастает. На современных станках обрабатывают детали – от мельчайших элементов ча-

сов и приборов до деталей, размеры которых достигают нескольких метров – турбин, теплоходов, прокатных станков и др. Поэтому и габариты самих станков весьма различны. Они включают в себя большое число механизмов, а для осуществления движений и управления рабочими циклами применяют механические, электрические и гидравлические методы.

Станкостроительная промышленность нашей страны выпускает большое число материалорежущих станков, различных по назначению, конструктивному исполнению и технологическим возможностям, универсальности, точности и др. Ежегодно осваивается выпуск нескольких сот типов (разновидностей) станков. Для удобного пользования этим обширным классом машин Экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков (ЭНИМС) разработаны единая классификация и нумерация станков отечественного производства.

В основу классификации станков положен технологический принцип обработки: назначение станка, характер обрабатываемых поверхностей, схема обработки и др. Эта классификация построена по десятичной системе. Все станки (за исключением специальных) подразделяются на десять групп, а группы, в свою очередь, подразделяются на десять типов. Станки делят на токарные, сверлильные, расточные, для абразивной, электрофизической и электрохимической обработки, резьбообрабатывающие, зубообрабатывающие, фрезерные, строгальные, долбежные, протяжные, разрезные и разные. В группы объединяются станки по общности технологического метода обработки или близкие по назначению.

Основные признаки деления станков на типы: вид обработки, применяемый инструмент, степень автоматизации, число важнейших рабочих органов станка и их расположение, технологические, конструктивные, эксплуатационные характеристики и др.

Все группы и типы станков представлены в табл. 37 (классификатор станков).

Система нумерации (условного обозначения) станков отечественного производства основана на присвоении каждой модели станка определенного номера. Обозначение модели станка состоит из трех (или четырех) цифр, иногда с добавлением прописных букв, обозначающих дополнительную характеристику станка. Первая цифра указывает группу, к которой относится станок; вторая – тип станка в пределах данной группы; третья (а при четырехцифровом обозначении – третья и четвертая цифры) – условно характеризует основные технологические особенности станка (например, наибольший диаметр обрабатываемой детали, наибольший диаметр инструмента, размеры стола и др.).

Прописная буква после первой цифры указывает на модернизацию (улучшение) станка. Буква, стоящая после всех цифр, обозначает модификацию (видоизменение) базовой модели станка или его технологические особенности (например, повышенную точность). Рассмотрим несколько примеров.

1. Станок 1Б140. Первая цифра 1 означает, что станок относится к токарной группе. Буква Б указывает, что станок модернизирован; вторая цифра 1 – на тип – одношпиндельный автомат; последние две цифры обозначают наибольший диаметр обрабатываемого прутка – 40 мм.

2. Станок 2150. Цифра 2 – вторая группа (сверильный); 1 – вертикальный; 50 – максимально допустимый диаметр сверла в мм.

Для обозначения моделей специализированных и специальных станков каждому станкостроительному заводу присвоен индекс из двух букв. В обозначении модели такого станка к буквам добавляются цифры, указывающие номер выпускаемого специального станка. Например, ЕЗ-9 – специальный станок для нарезания зубчатых реек, выпускаемый Егорьевским заводом зуборезных станков. Московский станкостроительный завод «Красный пролетарий» имеет индекс МК, Горьковский завод фрезерных станков – ГФ, Одесский фрезерный – ОФ.

По универсальности и специализации станки делят на универсальные, специализированные и специальные.

Универсальные станки общего назначения предназначены для выполнения различных операций при обработке деталей многих наименований.

Специализированные станки предназначены для обработки деталей одного наименования или немногих наименований, сходных по конфигурации, но имеющих различные размеры, например, ступенчатых валиков,

колец подшипников качения, муфт и т.п. Специализированные станки используются главным образом в серийном производстве.

Специальные станки служат для обработки одной определенной детали (или деталей одного типоразмера), например, лопаток газовых турбин. Станки этого рода используются в основном в массовом производстве, иногда и в крупносерийном.

В зависимости от массы и габаритов станки делятся на категории: легкие – массой до 10 кН; средние – от 10 до 100 кН; крупные – от 100 до 300 кН, тяжелые – от 300 кН до 1 МН и особо тяжелые (уникальные) массой более 1 МН.

Исключением из этой градации являются станки внутришлифовальные, хонинговальные и зубообрабатывающие, для которых крупные станки – от 100 до 200 кН, тяжелые – от 200 до 600 кН и особо тяжелые – более 600 кН.

По точностным характеристикам современные станки делятся на следующие группы: нормальной точности Н, повышенной точности П, высокой точности В, особо высокой точности А, особо точные С. На станках нормальной точности можно получить точность обработки по 7...8-му квалитетам.

Станки повышенной точности, как правило, изготавливаются на базе станков нормальной точности и отличаются от последних в основном более точным исполнением или подбором отдельных деталей, а также особенностями монтажа. Отклонения при обработке деталей на этих станках составляют 0,6 от отклонений, получающихся на станках нормальной точности. При обработке на станках высокой точности эти отклонения составляют 0,4, а на станках особо высокой точности – 0,25 от отклонений, получающихся при работе на станках нормальной точности. Высокая точность обработки на этих станках достигается конструктивными особенностями отдельных элементов станков, а также высокой точностью их изготовления и специальными условиями эксплуатации.

Особо точные станки изготавливаются индивидуально; отклонение по сравнению с отклонениями, получающимися на станках нормальной точности, составляет 0,16. Эти станки используются при необходимости получения наивысшей точности обработки – при изготовлении деталей типа делительных колес и дисков, эталонных колес, измерительных винтов и др.

Глава 8. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ РЕЗАНИЕМ

8.1. Обработка сталей и чугунов резанием

Обрабатываемость металлов резанием зависит от химического состава, структуры обрабатываемого металла, его механических свойств, способности к наклепу, физических свойств (теплоемкости, теплопроводности). Большое влияние на обрабатываемость сталей и чугунов оказывает химический состав. С увеличением содержания углерода повышается механическая прочность, возрастает сопротивление резанию и ухудшается обрабатываемость. При обработке заготовки из стали с малым содержанием углерода (0,1...0,25% С) получают большую шероховатость поверхности. Повышение содержания некоторых легирующих элементов (Cr, Mo, V, W, Ti) увеличивает прочность стали и понижает теплопроводность, что ведет к ухудшению обрабатываемости. Повышенное содержание серы и свинца улучшает, обрабатываемость стали. Так, стали автоматные (А12, А20 и др.) с повышенным содержанием серы (до 0,15%) обрабатываются лучше, чем малоуглеродистые стали. Свинец улучшает обрабатываемость благодаря смазывающему действию дисперсно распределенных частиц на границе зерен.

Значительное влияние на обрабатываемость сталей и чугунов оказывает структура металла. Заготовки с крупнозернистой структурой обрабатываются лучше, чем с мелкозернистой. В ряде случаев для улучшения обрабатываемости углеродосодержащие металлы подвергаются термической обработке. Пластичные сплавы обрабатываются труднее, чем менее пластичные сплавы, обладающие большей теплопроводностью и теплоемкостью – легче, так как температура резания при обработке этих сплавов ниже.

В любом случае, при обработке материалов резанием твердость режущего инструмента должна быть всегда выше, чем твердость обрабатываемого материала.

Большинство деталей из сталей и чугунов подвергаются обработке на токарных станках.

Обрабатываемость материала существенно зависит от углов заточки резца. На рисунке 7 показан проходной резец и деталь в проекции на основную плоскость: P_{II} – след плоскости резания; P_v – след плоскости, па-

раллельной основной плоскости; I – обрабатываемая поверхность; II – обработанная поверхность; R – поверхность резания. При точении основная плоскость перпендикулярна направлению вектора скорости главного движения. Как и в других случаях обработки резанием, главные углы резца (γ , α , β) рассматриваются в главной секущей плоскости $N - N_1$, а вспомогательные (γ_1 , α_1 , β_1) – в плоскости $N_I - N_I$.

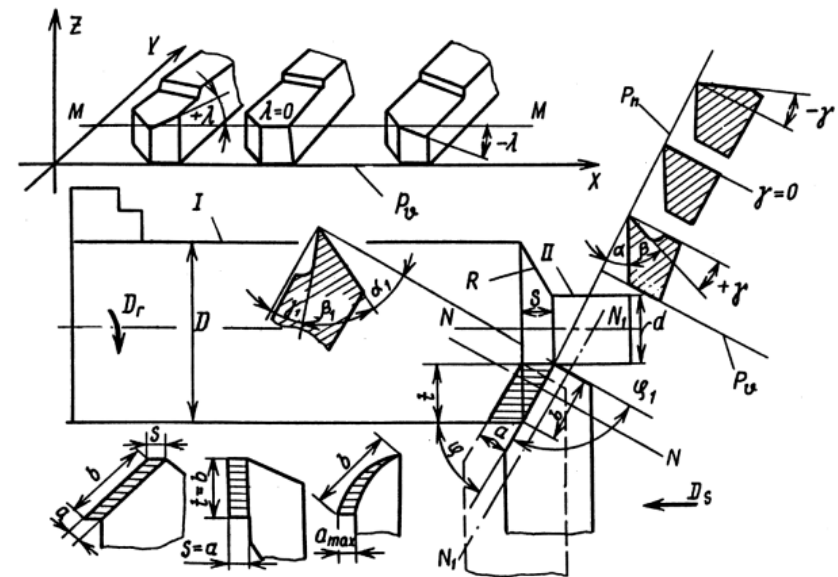


Рис. 7. Геометрические параметры проходного токарного резца

Передний угол γ – угол, образованный передней поверхностью лезвия и основной плоскостью.

Угол заострения β зависит от условий обработки, свойств материала заготовки и инструмента. Для точения твердых и прочных материалов применяются резцы с большими углами β (увеличивается прочность режущей части). Для обеспечения высокой производительности и экономичности обработки необходимо выбирать, оптимальные значения углов β и γ . Главный задний угол α , для различных типов токарных резцов изменяется от 5 до 15°. Углы заострения β определяются из соотношения $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$. Главный угол в плане ϕ и вспомогательный угол ϕ_1 – это углы, измеряемые в горизонтальной координатной плоскости XY (см. рис. 7) между проекциями на нее вектора скорости продольной подачи и проекциями главной и вспомогательной режущих кромок. Угол при вершине ϵ

– угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на горизонтальную (основную) плоскость; $\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$. Угол φ определяет форму площади среза и распределение нагрузки на инструмент.

В процессе точения значения углов α , β и γ изменяются в зависимости от установки резца относительно оси вращения детали (выше или ниже ее).

Для токарных и расточных резцов, предназначенных для обработки деталей из стали и чугуна, величина передних и задних углов назначается в пределах, указанных в табл. 38.

Главный угол в плане φ при постоянных значениях подачи и глубины резания t определяет соотношение между шириной и толщиной среза: при уменьшении угла φ уменьшается толщина среза и увеличивается его ширина. Увеличение активной длины режущей кромки, т. е. той части, которая находится в непосредственном соприкосновении с обрабатываемой заготовкой, приводит к уменьшению температуры в зоне резания, что снижает износ резца и повышает его стойкость. Однако при обработке нежестких деталей (например, длинных валиков) рекомендуется применять углы $\varphi = 60 \dots 75^\circ$, так как при меньших углах возможно появление вибрации и недопустимых прогибов заготовки (табл. 39).

Таблица 38

Передние и задние углы токарных и расточных резцов

Обрабатываемый материал	Материал лезвийного инструмента					
	Сталь быстро- режу- щая	Твер- дый сплав	Сталь быстро- режущая		Твердый сплав	
			Обработка			
			чер- новая	чисто- вая	черно- вая	чисто- вая
	Передний угол γ , град		Задний угол α , град			
Сталь						
конструкционная	25	12...15	6	12	8	12
Сталь легированная	20	10	6	12	8	12
Стальное литье	—	10	—	—	8	12
Сталь жаропрочная	20	10	8	8	10	10
Чугун серый	—	5	—	—	8	10
Чугун ковкий	—	8	—	—	8	10

Главный угол в плане φ при постоянных значениях подачи и глубины резания t определяет соотношение между шириной и толщиной среза: при уменьшении угла φ уменьшается толщина среза и увеличивается его ширина. Увеличение активной длины режущей кромки, т. е. той части, которая находится в непосредственном соприкосновении с обрабатываемой заготовкой, приводит к уменьшению температуры в зоне резания, что снижает износ резца и повышает его стойкость. Однако при обработке нежестких деталей (например, длинных валиков) рекомендуется применять углы $\varphi = 60 \dots 75^\circ$, так как при меньших углах возможно появление вибрации и недопустимых прогибов заготовки (табл. 39).

Таблица 39

Главный угол в плане φ токарных и расточных резцов

Назначение и условия работ резца	Угол φ , град
Точение с малой глубиной резания при особо жесткой системе	30
Растачивание стальной детали, точение при малой жесткости системы	60
Растачивание чугунной детали, точение при малой жесткости системы	70...75
Подрезка, прорезка, обточка и расточка ступенчатых поверхностей в упор; обработка в условиях нежесткой системы	90
Точение в условиях жесткой системы	45

Вспомогательный угол в плане φ' влияет на шероховатость обработанной поверхности, прочность вершины резца и его стойкость. При применении больших подач на детали появляются значительные остаточные гребешки. Для уменьшения их высоты применяют малые значения углов φ' , обычно в пределах $10 \dots 15^\circ$ (табл. 40).

Таблица 40

Вспомогательный угол в плане φ'

Условия работы резца	Угол φ' , град
Чистовая обработка	5...10
Черновое точение	10...15
Черновое растачивание	15...20
Обработка с подачей в обе стороны без перестановки резца	30

Обработка широкими резцами или резцами с дополнительным режущим лезвием

0

Значительное влияние на процесс точения оказывает угол наклона главной режущей кромки λ – угол между главной режущей кромкой и плоскостью $M-M$, проведенной через вершину режущей части резца параллельно горизонтальной координатной плоскости P_v .

Принято считать угол λ положительным, если вершина резца – низшая точка режущей кромки. Значение и знак угла λ влияет на направление схода стружки и распределение нагрузки по длине режущей кромки. Для обдирочных работ применяются положительные углы λ (до $+60^\circ$), при этом стружка направляется к обработанной поверхности, возможно ее наматывание на деталь и царапание поверхности детали. Поэтому для чистовой обработки применяют резцы с отрицательными углами λ (до -5°). При прерывистом точении применяют резцы с $\lambda=+10\dots+25^\circ$ и $\gamma=-5\dots-10^\circ$.

Большое количество различных технологических операций, выполняемых на токарных станках, обуславливает многообразие конструкций применяющихся резцов.

Резцы подразделяются по назначению, направлению движения, форме режущей части и по конструкции. По назначению (рис. 8) : проходные 6, 8 и проходные упорные 4, подрезные 1, отрезные и прорезные 5, расточные 10, 9, фасонные 2, резбовые 7, резцы для чистовой обработки 3 и др.

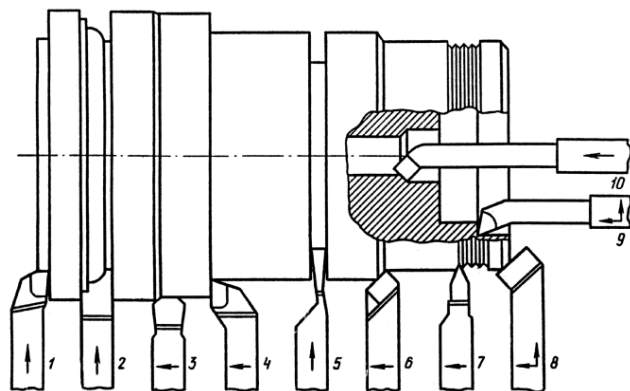


Рис. 8. Основные типы токарных резцов

По направлению движения: правые 6 и левые, радиальные и тангенциальные.

По форме головки (режущей части) : прямые 6, 3, отогнутые 1, 4, 8, 9, 10, оттянутые 5, 7 и изогнутые.

По конструкции: цельные и сборные (сложной конструкции с различными способами крепления режущих пластинок) и резцовые блоки.

Цельные резцы изготавливаются из быстрорежущей стали (реже из легированных сталей), сборные – оснащаются пластинками из быстрорежущих сталей твердых сплавов, минералокерамики, а также из СТМ (поликристаллические синтетические алмазы или нитриды бора). Типы конструкции резцов выбираются с учетом комплекса технологических и экономических показателей (характера операции, свойств материалов, геометрических параметров инструмента, особенностей заточки и др.).

Форма передней поверхности резцов из быстрорежущей стали после заточки имеет четыре разновидности (рис. 9) :

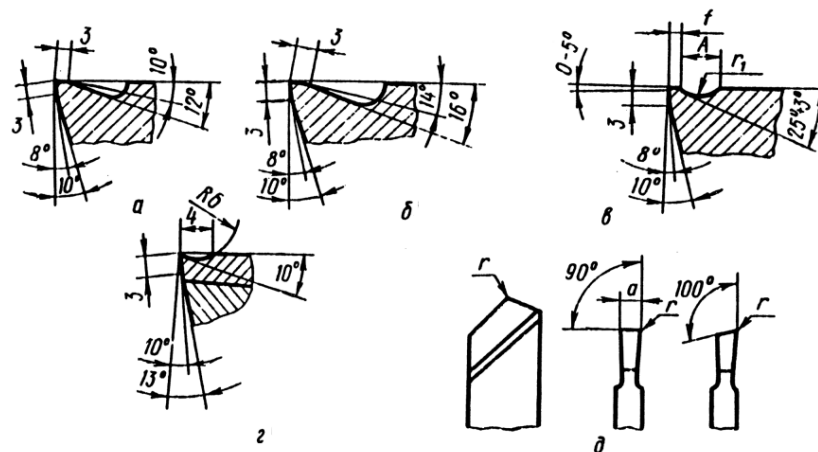


Рис. 9. Формы передней поверхности резцов из быстрорежущей стали

- плоская, с положительным передним углом $\gamma=10^\circ$ для обработки стали с $\sigma_b > 800 \text{ Н/мм}^2$, серого чугуна $\text{HB} > 220$, бронзы и других хрупких материалов (рис. 9, а);

- плоская, с положительным передним углом $\gamma=14^\circ$ для обработки стали с $\sigma_b < 800 \text{ Н/мм}^2$, чугуна $\text{HB} < 220$ (рис. 9, б);

- криволинейная, с фаской для обработки стали с $\sigma_b < 800 \text{ Н/мм}^2$, вязких цветных металлов и легких сплавов при необходимости завивания стружки (рис. 9, в);

- криволинейная для обработки материалов с $\sigma_b = 800 \dots 1000 \text{ Н/мм}^2$ (рис. 9, г).

Ширина фаски f (мм) (рис. 9, в) затачивается в пределах:

- для токарных проходных и подрезных резцов – $0,2 \dots 1,5$;

- для токарных расточных резцов – $0,1 \dots 0,6$;

- для токарных отрезных и прорезных резцов – $0,15 \dots 0,5$.

Радиусная канавка (рис. 10, в) выполняется радиусом $r = 3 \dots 18 \text{ мм}$, шириной A от 2,5 до 15 мм. Радиус r вершины резца (рис. 9) назначают от 0,2 до 3 мм. Меньшие значения указанных параметров относятся к резцам с державкой сечением до $10 \times 10 \text{ мм}$, большие значения – к резцам сечением $40 \times 40 \text{ мм}$.

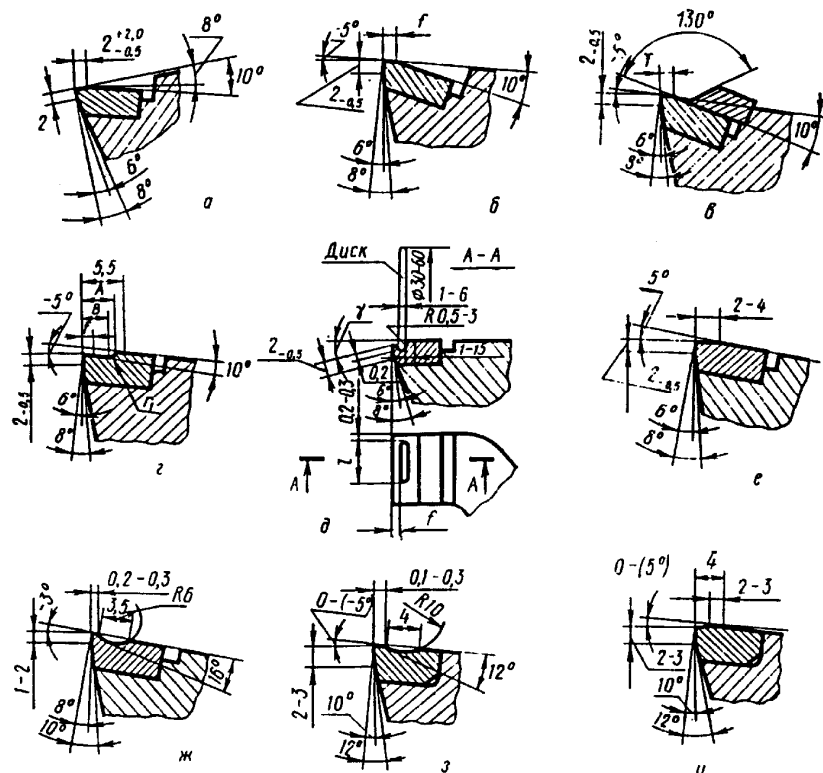


Рис. 10. Формы передней поверхности резцов с твердосплавной пластиной

Форма заточки передней поверхности резцов с пластинками из твердого сплава имеет большое число разновидностей:

- плоская, с положительным передним углом для обработки серого чугуна, бронзы и других хрупких материалов (рис. 10, а);

- плоская, с отрицательной фаской для обработки ковкого чугуна, стали и стального литья с $\sigma_b < 800 \text{ Н/мм}^2$ (рис. 10, б и в);

- криволинейная, с отрицательной фаской для обработки стали с $\sigma_b < 800 \text{ Н/мм}^2$ при необходимости завивания и дробления стружки (рис. 10, г, д);

- плоская, с отрицательным передним углом для черновой обработки стали и стального литья с $\sigma_b > 800 \text{ Н/мм}^2$ или при точении с ударами в условиях жесткой технологической системы (рис. 10, е);

- криволинейная, с отрицательной фаской для обработки нержавеющей сталей с $\sigma_b \leq 850 \text{ Н/мм}^2$ (рис. 10, ж);

- криволинейная, с отрицательной фаской для обработки материалов с σ_b до 1300 Н/мм^2 (рис. 10, з);

- плоская, с отрицательным передним углом для обработки материалов с $\sigma_b \geq 1200 \text{ Н/мм}^2$ (рис. 10, и).

Ширина фаски f выполняется в пределах $0,1 \dots 0,6 \text{ мм}$ для расточных, отрезных и прорезных резцов и в пределах от $0,15$ до $1,2 \text{ мм}$ для проходных и подрезных резцов. Радиус вершины r назначают в пределах от $0,5$ до $2,5 \text{ мм}$ у проходных и подрезных резцов и от $0,5$ до $1,6 \text{ мм}$ у расточных резцов (рис. 10, д).

На передней поверхности для облегчения отвода сливной стружки, ее завивания или ломания иногда выполняют крупноразмерные с радиусом $4 \dots 18 \text{ мм}$ или мелкоразмерные с радиусом $0,5 \dots 3 \text{ мм}$ лунки, порошки, уступы.

Стружка завивается тем круче, чем меньше радиус R выкружки лунки и чем ближе она расположена к режущей кромке. Мелкоразмерная лунка имеет небольшую ширину (не более 3 мм) и глубину до $0,1 \dots 0,5 \text{ мм}$, может быть замкнутой или незамкнутой с выходом в обе стороны (отрезные резцы) или в одну сторону.

Крупноразмерные лунки делают на твердосплавных и быстрорежущих резцах шириной от 3 до 15 мм глубиной до $1,5 \text{ мм}$.

8.2. Обработка алюминия и его сплавов резанием

Обработка алюминия по сравнению со сталью характеризуется значительно высокой скоростью при равной стойкости инструмента. Вследствие сравнительного высокого коэффициента трения между алюминием и сталью при низких скоростях резания, даже при соблюдении рекомендуемых углов резания, на режущей кромке инструмента может образоваться нарост, который, помимо всего прочего, значительно ухудшает качество поверхности. Поэтому алюминий должен обрабатываться резанием со скоростями не ниже 90 м/мин. Исключением являются ручные работы, протяжка, сверление, зенкерование и нарезание резьбы.

Чистый алюминий и сплавы в отожженном состоянии дают длинную вязкую стружку, удаление которой из-за большого ее объема (обусловленного высокой скоростью резания) иногда бывает затруднительно. Нестареющие сплавы в нагартованном состоянии и состаренные сплавы хорошо обрабатываются резанием, но тоже дают длинную стружку. С использованием стружкоотводящей ступеньки или стружкозавивательных приспособлений может быть также получена стружка в виде коротких витков.

Для обточки на автоматических станках разработаны сплавы с добавкой свинца, которые дают короткую сыпучую стружку. Аналогичной формы стружка образуется также при обработке сплава AlMg5 в полунагартованном или нагартованном состоянии, который используется преимущественно на предприятиях по выпуску оптики и точной механики, поскольку он лучше поддается декоративному анодированию, чем материалы с добавкой свинца.

Литейные сплавы обладают в основном такой же обрабатываемостью резанием, как и деформируемые одинакового химического состава. Они лишь дают, как и большинство литейных сплавов, более короткую стружку.

Показателем обрабатываемости резанием литейных сплавов служит содержание кремния, повышенная твердость соединений которого может отрицательно сказаться на стойкости инструмента.

В зависимости от состава и состояния или прочности при обработке резанием алюминия выделяют три группы материалов (табл. 41).

Таблица 41

Группы материалов, классифицируемых по обрабатываемости резанием

Материал	Состояние	Твердость HB
----------	-----------	--------------

Группа 1. Нестареющие деформируемые сплавы, стареющие деформируемые сплавы в отожженном состоянии

Чистый алюминий и алюминий, повышенной чистоты	Любое	15...38
AlMg0,5...AlRMg1		
Al199,9Mg0,5...	«	23...50
...Al199,9Mg1	«	30...50
AlMg1	«	25...40
AlMn	«	45...75
AlMgMn, AlMg4,5Mn	«	35...90
AlMg сплавы, 2...5% Mg	«	
Стареющие деформируемые сплавы	Тянутое, прессованное, катанное отожженное	35...90

Группа 2. состаренные деформируемые сплавы и литейные сплавы с содержанием Si < 10%

Деформируемые сплавы AlMgSi0,5, AlMgSi0,8, AlMgSi1	Естественно и искусственно состаренное	45...95
AlCuMg1, AlCuMg2	Естественно состаренное	90...125
AlZnMg1	Искусственно состаренное	80...125
AlZnMgCu0,5, AlZnMgCu1,5	То же	120...140

Окончание табл. 41

Материал	Состояние	Твердость HB
AlMgSiPb, AlCuBiPb, AlCuMgPb	Естественно и искусственно состаренное	60...110
AlMg3...AlMg10, AlSi5Mg, AlSi6Cu4, AlSi8Cu3	От необработанного до искусственно состаренного	55...110
AlMg9, AlCu4TiMg, AlSi7Mg	От частично термоупрочненного до искусственно состаренного	70...130

Группа 3. Литейные сплавы с 10% Si

AlSiMg9	Искусственно состаренное	75...115
AlSi10Mg (включая варианты с медью)	От необработанного до искусственно состаренного	50...115
AlSi12	Необработанное	45...80

Поршневые сплавы AlSiCuNi (12...25% Si)	Специально термообра- ботанное	90...140
--	-----------------------------------	----------

Стружка алюминиевых сплавов не является пожароопасной. Рекомендуется, по возможности, сортировать стружку и отходы по сплавам, поскольку при этом можно достичь большей экономичности производства.

Для экономичной обработки резанием алюминия требуется, чтобы инструмент имел большой передний угол и большую выемку для выхода стружки. Передние его грани должны подвергаться тонкому шлифованию или, что еще лучше, притирке, чтобы трение между инструментом и образующейся стружкой поддерживать по возможности минимальным. Высокая скорость резания, большой передний угол и гладкая передняя грань препятствуют в совокупности с действием смазки и охлаждения (при остром инструменте) образованию нароста, из-за которого может получаться неровная, с задирами поверхность обработки.

Износ инструмента проявляется в виде усиливающегося затупления режущей кромки, обусловленного ее смещением. Лункообразный износ при обработке резанием алюминия в общем случае не наблюдается. В результате износа на передней грани образуется слегка скругленная фаска с отрицательным передним углом резца (около 15°). С развивающимся затуплением сильно возрастает усилие резания и температура резания из-за затрудненных условий схода образующейся стружки, так что частицы обрабатываемого материала в виде сплошной массы могут выдавливать вдоль задней грани резца, где они перед окончательным формообразованием свариваются в так называемую ложную стружку, прочно пристающую к задней поверхности инструмента.

Материал для режущего инструмента определяют, исходя из конкретных условий резания. Для обработки резанием алюминия используют преимущественно быстрорежущие (БРС) и твердые сплавы (ТС), а наряду с ними для тонкой обработки – и алмазы. Минералокерамические материалы, содержащие окислы, до сих пор не могут применяться для обработки резанием алюминия, поскольку между пластинкой и обрабатываемым материалом может произойти реакция (из-за большого сродства алюминия к кислороду), приводящая в негодность режущий материал.

Инструментальная сталь применяется только для сверления и развертывания малых диаметров, в единичных случаях – для обработки деформируемых материалов.

Быстрорежущая сталь хорошо подходит для резания сплавов с небольшим содержанием кремния. Если требуются большие мощности резания, то быстрорежущая сталь может стать более экономичной, чем твердые сплавы, особенно в том случае, когда на данных станках нельзя достичь скоростей резания, применяемых при работе с твердыми сплавами. Высокая вязкость делает возможным применять инструмент с большими передними углами также при прерывистом резании. Параметры токарной обработки алюминия приведены в табл. 42.

Соблюдение рекомендуемых углов резания имеет очень большое значение для достижения высокой чистоты поверхности и высокой стойкости резца. Поэтому инструмент должен подвергаться механическому шлифованию. Риски и грат после шлифования следует удалять доводкой или притиркой.

Меньшая по сравнению со сталью твердость делает алюминий более чувствительным к образованию рисок, надрезов и вмятин при закреплении детали. Поэтому желательно оснастить зажимные устройства защитными прокладками, а зажимные патроны – расточными мягкими кулачками. По возможности следует для закрепления применять тиски с гладкими губками, цинковые патроны или разжимные оправки.

Фрезы для обработки алюминия отличаются от фрез для обработки стали большим расстоянием между зубьями и большей выемкой для выхода стружки.

Плоские поверхности только в редких случаях обрабатываются цилиндрическими фрезами, а чаще – торцовыми со вставными ножами; диаметр фрез подбирается таким, чтобы на станках для обработки стали (предполагая достаточную жесткость и мощность привода) можно было достичь высокой скорости резания.

По взаимному расположению обрабатываемой поверхности и оси оправки можно разделить фрезы на цилиндрические и торцовые. При фрезеровании торцовыми фрезами (фрезерными головками или цельными торцовыми фрезами) стремятся, чтобы диаметр фрезы превышал по меньшей мере на 1/5 ширину обрабатываемой детали, причем 2/3 ширины следует фрезеровать против подачи и 1/3 – по подаче. При фрезеровании цилиндрическими фрезами (простыми цилиндрическими, концевыми, дисковыми или фасонными фрезами) предпочитают фрезерование по подаче. Предпосылкой для достижения безупречной поверхности является, возможно, более полное удаление люфтов в опорах ходового винта подачи, а также между ходовым винтом и гайкой.

При фрезеровании алюминия следует придерживаться следующих режимов: передний угол $\alpha=30\ldots15^\circ$ (меньшие передние углы при черновом фрезеровании, большие – при чистовом); задний угол $\alpha=18\ldots6^\circ$ (то же, что и угол γ); скорость резания для БРС составляет 100...600 м/мин (меньшие значения для 3-й группы обрабатываемого материала), для ТС – 300...2500 м/мин (то же, что и БРС); подача на зуб фрезы 0,1...0,5 мм/зуб; глубина резания 0,5...6 мм.

Для сверления алюминия и его сплавов применяют спиральные сверла. Диаметр отверстия, особенно при сверлении мягких сортов алюминия, получается значительно больше диаметра сверла. Поэтому диаметр сверла берут на 0,2...0,5 мм меньше диаметра отверстия. Параметры резания при сверлении приведены в таблице 43.

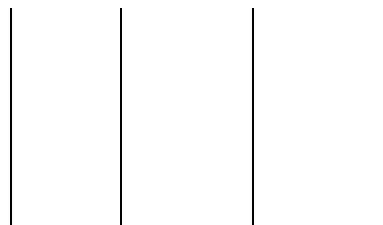
Основные параметры сверления алюминия

Параметры	Режущий материал	Группа обрабатываемого материала			Примечания
		1	2	3	
Угол при вершине сверла α°	БРС ТС	140 130	120 120	100 115	При сверлении листов угол увеличивается или применяется центровое сверло
Угол наклона винтовой канавки (передний угол) γ°	БРС ТС	45...30 15...10	35...20 15...10	25...15 8...4	Применяются сверла малого диаметра с меньшим углом наклона винтовой канавки
Задний угол заточки (задний угол) α°	БРС ТС	17...15 12	15 12	12 12	При заправке сверл с двойной заточкой сохранять заданный угол на каждой ступени режущей части
Скорость резания v , м/мин	БРС ТС	100...200 200...300	80...100 100...140	50...80 60...100	Меньшие скорости для сверл малого диаметра
Подача s , мм/об	БРС ТС	0,02...0,50 0,06...0,30	0,02...0,50 0,06...0,30	0,02...0,3 0,03...0,15	То же

Окончание табл. 43

Параметры	Режущий материал	Группа обрабатываемого материала			Примечания
		1	2	3	
Смазочно-охлаждающие мате-	БРС ТС	Эмульсия Сухое	Эмульсия Сухое/ эмульсия	Эмульсия Сухое/ эмульсия	Вместо эмульсии также применяются рас-

риалы



творимые в воде синтетические смазки. А при сверлении на месте – также и консистентные жиры

Спиральные зенкеры (трехзубые) и насадные (четырёхзубые) служат для расширения предварительно просверленных или полученных при литье отверстий, часто с применением кондукторных втулок.

Отверстия, обработанные зенкером, имеют меньшую овальность, чем полученные спиральным сверлом, поэтому при получении отверстий с низкими допусками по диаметру с помощью разверток предварительно их обрабатывают зенкером, оставляя припуск. Параметры зенкерования те же, что и при сверлении алюминия за исключением скорости резания, которая составляет 25...10 м/мин.

Для развертывания отверстий в деталях из алюминия могут использоваться развертки всех типов, которые применяются для обработки стальных деталей.

Резка дисковыми пилами ведется главным образом для разделения на мерные длины прутков, штанг, профилей и труб, а также для получения узких пазов. Особую разновидность представляет собой горячая резка непрерывно прессуемого изделия после выхода его из пресса (температура изделий 300...400°C).

Резка дисковой пилой сравнима с фрезерованием дисковыми фрезами. Шаг t зависит от сечения пилы, которое является важнейшим показателем для пил очень малого диаметра. Он должен выбираться таким, чтобы обеспечить достаточно большое и скругленное пространство для выхода стружки (рис. 11).

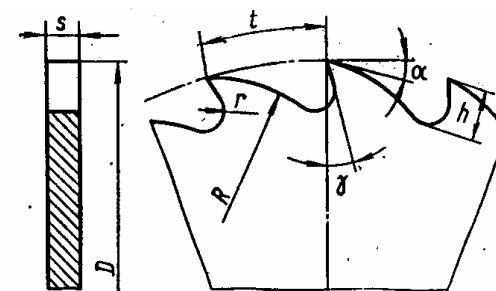


Рис. 11. Углы и формы зубьев дисковой пилы (при шаге $t=5...10$ мм, $h=4...5$ мм, $s=1...3$ мм; при шаге $t=9...20$ мм, $h=5...8$ мм, $s=1...3$ мм; при шаге $t < 60$ мм, $h < 25$ мм, $s < 6$ мм)

Полотно пил диаметром до 250 мм изготавливается полностью из быстрорежущей стали и с каждой стороны утоняется шлифовкой к центру для предупреждения защемления при резке. Пилы большего размера состоят из стального закаленного диска из листовой стали, оснащенного клепанными сегментами из быстрорежущей стали или припаянными, а также механически закрепленными ножами из твердых сплавов.

Резка ленточными пилами чаще всего ведется при небольших сечениях изделий, а также для получения сквозных отверстий и контуров на листовом материале толщиной примерно от 6 мм. Шаг зубьев нормализован – 4...12 мм. Для тонкого листа еще меньше, поскольку в разрезаемом сечении должны одновременно резать не менее двух зубьев.

Ножовочные пилы применяют лишь для единичных случаев резки алюминия, так как скорость резки слишком мала. Для ручной резки следует использовать по возможности полотна с большим выемом у зубьев, где стружка может скручиваться.

Плашки и резьбонарезные головки на состаренных сплавах дают безупречную по качеству резьбу. Заборную часть следует несколько удлинять по сравнению с обработкой стали. Очень важно обеспечить достаточный подвод смазочно-охлаждающей жидкости при длинной резьбе. Наружный диаметр детали после обточки должен быть меньше номинального диаметра резьбы на $0,2...0,3 t$, где t – шаг резьбы. Следует обратить особое внимание на соосность детали и инструмента.

Метчики для ручной нарезки резьбы на алюминии применяют в комплекте, включающем два или три метчика. Для машинной – также в комплекте или один метчик. Они должны иметь широкие, хорошо закруглен-

ные полированные канавки для выхода стружки и большой передний угол. Обратная сторона режущего инструмента должна выполняться по радиусу или иметь подрез, чтобы при обратном ходе метчика стружка не вдавливалась в резьбу.

Токарный, сверлильный и фрезерный инструмент с алмазами применяется преимущественно для точной чистовой обработки при серийном производстве алюминиевых деталей, когда требуется как высокая точность соблюдения размеров, так и высокое качество поверхности. Необходимая предварительная обработка ведется чаще всего твердосплавным инструментом.

Особое преимущество резки алмазным инструментом – высокая стойкость (даже при обработке высококремнистых сплавов, например, при изготовлении поршней двигателей внутреннего сгорания).

8.3. Обработка титана и его сплавов резанием

Наибольшие трудности при обработке титановых сплавов резанием возникают при черновой обработке заготовок (штамповок, поковок, прутков), так как при этом удаляется поверхностный дефектный слой, состоящий из окалины и корки, образующихся в результате взаимодействия титана с кислородом и азотом воздуха, и отличающийся весьма высокой твердостью и альфированной структурой.

С целью повышения эффективности черновой операции, обычно выполняемой точением или фрезерованием, рекомендуется предварительно удалять окалину и корку специальной обработкой.

Заготовки (прутки, поковки, штамповки) титановых сплавов обдувают песком до удаления окалины, о чем свидетельствует матовый светло-серый цвет их поверхности (бурые пятна и оттенки не допускаются), и подвергают травлению при температуре 20...30°C в водном растворе, содержащем 16% азотной и 5% фтористо-водородной кислот, а затем промывают в воде. Продолжительность травления определяется по виду заготовок: поверхность их должна иметь глянцевый металлический блеск. Регулирование процесса травления по времени достигается изменением содержания в ванне фтористо-водородной кислоты, увеличение которой ускоряет травление. Указанная обработка поверхности полуфабрикатов существенно облегчает последующую черновую обработку, увеличивая стойкость резца с пластинкой из сплава ВК8 примерно в 3 раза.

Решающим условием обеспечения стойкости инструмента является такое проведение обработки, при которой вершина режущего лезвия осуществляет резание только под коркой. Это достигается снятием фаски с торца заготовки перед началом точения и установлением достаточной глубины резания; в случае наличия биения (из-за неровностей на поверхности заготовки) допускаются значительные колебания глубины резания при минимальном ее значении 0,5 мм. Фаска снимается другим или тем же резцом, участком его режущей кромки, не работающим при выполнении основного прохода. При обдирке корки на крупных заготовках (типа валов, слитков) не исключена возможность применения предварительного подогрева обрабатываемой поверхности т. в. ч. Индуктор установки при обработке должен перемещаться вместе с резцом, располагаясь впереди него на некотором расстоянии. Необходимым условием является обеспечение соответствующей температуры срезаемого слоя, достаточной для локализации вредного воздействия корки на контактные поверхности инструмента, но не приводящей его к потере режущих свойств. Предварительный подогрев можно применять только при черновой обработке (при обдирке корки), после которой непременно следует чистовая обработка.

Прежде чем перейти к изложению рациональных условий выполнения основных видов механической обработки титановых сплавов, следует отметить необходимость соблюдения мер техники безопасности при обработке этих материалов. Такая предосторожность связана с опасностью воспламенения и интенсивного горения стружки сплавов титана, например, при точении с малыми сечениями среза ($t \cdot S = 0,05 \times 0,07$ мм) на достаточно высоких скоростях, а также взрывоопасностью пыли, образующейся при выполнении некоторых видов обработки (например, при шлифовании). В связи с этим при осуществлении чистовых токарных и фрезерных операций следует избегать снятия малого припуска (порядка 0,05...0,1 мм) и высоких скоростей резания (более 150 м/мин), а при шлифовании подавать в зону резания смазочно-охлаждающую жидкость в обильном количестве (не менее 25 л/мин).

Следует иметь в виду, что пыль титановых сплавов может взрываться и воспламеняться не только при обработке, но и при хранении.

Разрезка заготовок из титановых сплавов, осуществляемая обычно абразивными кругами, лезвийным инструментом представляет значительные трудности, связанные как с интенсивным износом инструмента, так и невысокой (а в ряде случаев даже с низкой) производительностью.

Черновое точение (по корке). Резцы оснащают пластинками из твердых сплавов ВК12Та, ВК8Та, ВК8. Геометрия режущей части резца: фаска вдоль главной режущей кромки $f=0,5...0,7$ мм; передний угол на фаске $\gamma=0...-5^\circ$, на остальной части передней поверхности $\gamma=8...10^\circ$, задние углы $\alpha=\alpha_1=15^\circ$; углы в плане $\varphi=45^\circ$, $\varphi_1=15^\circ$; радиус при вершине $R=0,6...0,8$ мм; угол наклона главной режущей кромки $\lambda=0...5^\circ$. Параметры режима резания: $V=7...25$ м/мин; $S=0,25...0,40$ мм/об; $t=2...8$ мм.

Меньшие из указанных значений скорости резания и подачи рекомендуется для точения β -сплавов (ВТ15), большие – для обработки α и $(\alpha+\beta)$ -сплавов. При выполнении данной операции следует применять в качестве смазочно-охлаждающей жидкости эмульсию стандартного состава, подаваемую непрерывно и обильно обычным способом (поливом).

При получистовом непрерывном точении применяются резцы, оснащенные пластинками из твердых сплавов ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8, ВК8Та, ВК12Та, а при чистовом – резцы с пластинками из сплавов ВК2, ВК4, ВК6М, ВК6, ВК8, ВК8Та. Геометрические параметры отличаются от приведенных для чернового точения лишь величинами переднего угла на фаске и угла наклона главной режущей кромки, которые принимаются равными соответственно $\gamma=0...5^\circ$ и $\lambda=0^\circ$. При непрерывном точении резцами, оснащенными пластинками из твердых сплавов указанных марок, в зависимости от технологических требований и структуры сплава обрабатываемой заготовки принимаются следующие режимы резания: $V=20...100$ м/мин; $S=0,1...0,2$ мм/об; $t=0,3...1,0$ мм.

Фрезерование следует производить торцовыми насадными фрезами со вставными ножами, оснащенными пластинками из твердого сплава ВК8.

Для черновой обработки применяют также концевые и дисковые фрезы. Рекомендуемые режимы резания: $V=10...30$ м/мин; $S=0,05...0,1$ мм/об; $t=1,5...5$ мм.

Для сверления отверстий диаметром от 2 до 6 мм следует применять специальные сверла со спиральной цельнопрессованной рабочей частью из твердых сплавов ВК8, ВК10М, ВК15М, закрепленной в державке путем пайки или запрессовки. Шлифование рабочей части сверл и их заточка должны производиться алмазными кругами (АС12, АС3, Б1, Б2). Такими сверлами успешно обрабатывают отверстия значительной глубины ($L>12D$) в титановых сплавах. По скорости и стойкости они превосходят сверла

из лучших марок быстрорежущей стали (ВНИИ-1, Р10К5Ф5, Р14Ф4, Р9К10 и др.).

Сверление отверстий большего диаметра (от 6 до 30 мм) следует производить спиральными сверлами, оснащенными пластинкой из твердого сплава ВК8. В зависимости от глубины отверстия применяются длинные или укороченные сверла. Для сверления очень мелких отверстий диаметром менее 2 мм используются быстрорежущие сверла.

В зависимости от условий сверления (глубины отверстия, его диаметра, расположения на детали и пр.) возможно применение ручной подачи.

При сверлении глубоких отверстий необходимо периодически выводить сверло из отверстия для очистки от стружки и охлаждения. Во избежание наклепа и связанного с ним значительного затруднения сверления не следует оставлять сверло в отверстии без подачи и допускать трение его кромок о дно отверстия.

Критерием затупления сверла следует считать износ на уголках задних поверхностей, равный 0,4...0,5 мм. При сверлении быстрорежущими и твердосплавными сверлами необходимо применение смазочно-охлаждающих жидкостей.

Нарезание резьбы при изготовлении деталей из титановых сплавов обычно осуществляется лезвийным (металлическим) инструментом. Наибольшее применение получили резцы и метчики. Использование плашек практически не представляется возможным из-за сложных условий резания.

Резьбошлифование является весьма трудоемким процессом, не гарантирующим требуемого качества поверхностного слоя, так как возникают прижоги, очаги охрупчивания и т.п.

Положительные результаты дает применение накатных роликов для получения резьбы на деталях из титановых сплавов.

8.4. Обработка магния и его сплавов резанием

Для обработки сплавов магния обычно используются инструменты из быстрорежущей стали. Для успешного резания очень важно устранить налипание на рабочих поверхностях инструмента. Поэтому режущие границы инструмента должны быть тщательно доведены алмазной доводкой.

Для продолжительного резания и обдирки заготовок, отлитых в песчаных формах, предпочтительней применение инструментов, оснащенных

твердыми сплавами. Особенно хорошие результаты при чистовой обработке получаются, если применяется алмазный инструмент.

Токарную обработку сплавов ведут на максимально возможных скоростях, поскольку отвод стружки не представляет трудностей. При окончательной обточке можно снимать стружку с сечением на 50...100% большим, чем при такой же обработке изделий из конструкционной стали. Рекомендуемые режимы токарной обработки приведены в табл. 44.

Таблица 44

Режимы резания при обточке и расточке магниевых сплавов

Операция	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Глубина резания, мм
Предварительная	90...180	0,75...2,5	1,25
	180...300	0,5...2,0	1,0
	300...450	0,25...1,5	0,75
	450...600	0,25...1,0	0,5
	600...1500	0,25...0,75	0,375
Окончательная	90...180	0,125...0,625	2,5
	180...300	0,125...0,5	2,0
	300...450	0,075...0,375	1,25
	450...600	0,075...0,375	1,25
	600...1500	0,075...0,375	1,25

При использовании твердосплавных резцов передний угол должен составлять 3...5° (иногда его доводят до значений 15...20°, что позволяет снизить затрачиваемую мощность). Передняя грань резца должна быть полированной и плавно переходить в державку, чтобы не было препятствий для схода стружки. В комбинированном проходном подрезном резце главный задний угол принимают 10°, а дополнительный – 7...10°.

Точение можно вести всухую. При расточке длинных отверстий необходимо сдувать стружку струей сжатого воздуха, подводимого к передней грани резца через полую державку.

В магниевых сплавах можно сверлить неглубокие отверстия, желательно применять спиральные сверла с хорошо отполированными режущими гранями и канавками, угол заточки должен составлять $2\varphi=100...140^\circ$. При сверлении возможен уход сверла с оси, поэтому требу-

ется применение охлаждающей жидкости или воздуха. Режимы резания при сверлении необходимо выбирать из табл. 45.

Таблица 45

Режимы резания при сверлении магниевых сплавов

Диаметр сверла, мм	Скорость резания, м/мин	Подача, мм	
		Отверстие	
		неглубокое	глубокое
6	90...600	0,1...0,76	0,1...0,2
12	90...600	0,38...1,0	0,3...0,5
25	90...600	0,5...1,2	0,38...0,75

Для развертывания отверстий применяют развертки с малым числом зубьев и отрицательным углом наклона спирали. Это препятствует самозатягиванию развертки в обрабатываемое отверстие. Вдоль режущей кромки зуба развертки должна быть полированная ленточка шириной не более 0,375 мм. Диаметр развертки должен быть полнее на 0,0125...0,0375 мм, что компенсирует усадку после прохода инструмента.

Нарезание внутренних резьб производят метчиками с полированными канавками и профилем. Размер профиля должен быть полнее на 0,1 мм. Резьбы нарезают всухую или со смазкой (минеральное масло или парафин).

8.5. Обработка тугоплавких материалов резанием

По обрабатываемости резанием тугоплавкие материалы разделяются на три группы: 1-я – вольфрам и его сплавы; 2-я – молибден, хром и их сплавы; 3-я – ниобий, тантал, ванадий.

Вольфрам является наиболее тугоплавким материалом, наряду с этим он и его сплавы обладают высокой механической прочностью и твердостью; предел прочности на растяжение доходит до 1400 МН/м² и твердость – до НВ 490.

Вольфрам плохо поддается обработке резанием; это объясняется его исключительно высокими хрупкостью, твердостью, теплостойкостью, высоким абразивным воздействием. Другим недостатком вольфрама является склонность к образованию нестойких окисных пленок, вследствие этих

причин инструменты из быстрорежущей стали быстро тупятся, вызывая выкрашивание на обрабатываемой поверхности. Поэтому при обработке резанием вольфрама применяют остро заточенный твердосплавный инструмент с большими значениями передних углов. Процесс стружкообразования при резании вольфрама протекает по схеме хрупкого разрушения, при этом обработанная поверхность детали имеет ярко выраженную шероховатость. При обработке вольфрама плотностью не менее 85% с относительно низкими скоростями резания образуется мелкодробленая форма стружки. По мере увеличения скорости резания достигается переход на непрерывную стружку (при этом снижается шероховатость поверхности). Для токарной обработки нелегированного вольфрама высокой плотности твердосплавными резцами рекомендуются следующие режимы резания: для черновой обработки $S=0,25\ldots 0,3$ мм/об, $V=46\ldots 61$ м/мин; для чистовой – $S=0,18\ldots 0,23$ мм/об, $V=61\ldots 91$ м/мин.

Обрабатываемость вольфрама резанием, ввиду его высокой хрупкости, сильно зависит от вида операции. Вероятность откалывания и растрескивания получаемой при обработке поверхности детали особенно велика на операциях, связанных с ударным воздействием инструмента, например при фрезеровании. При точении вольфрама сила резания характеризуется высокой радиальной составляющей, что вызывает повышенный износ вершины инструмента. Поэтому обработку ведут с небольшими глубинами резания ($t=1,5$ мм).

Хорошие результаты при обработке вольфрама дает его подогрев до температуры $300\ldots 400^\circ\text{C}$ (в несколько раз повышается стойкость резцов, устраняются выкрашивание и растрескивание обрабатываемого материала за счет увеличения пластичности).

Молибден характеризуется низкой обрабатываемостью резанием, однако он более пластичен, чем вольфрам. Особенностью обработки молибдена, по сравнению с вольфрамом, является ограниченный выбор видов охлаждающих жидкостей, так как молибден химически активен и легко взаимодействует, например, с осерненными маслами. Хорошие результаты при обработке резанием молибдена показывает смесь хлорированного масла с трихлорэтиленом в пропорции 1/1; при этом следует учесть, что пары этой жидкости токсичны и требуют проведения специальных мер по технике безопасности. Некоторое повышение стойкости резцов и снижение шероховатости поверхности дает применение 10%-ного раствора

эмульсола. При резании молибдена применяют оптимальные величины скоростей (на малых скоростях возрастает шероховатость, на больших – интенсивность износа инструмента).

Ниобий характеризуется малой прочностью и высокой пластичностью. По обрабатываемости ниобий можно сравнить с медью; оба металла пластичны и легко режутся. Отличительная особенность ниобия – его активное схватывание с рабочими поверхностями инструментов, наволакивание на них. Это увеличивает работу трения, приводит к наклепу и повышению температуры в зоне резания, что снижает стойкость инструмента и ухудшает шероховатость поверхности. При точении ниобия применяют резцы из сплавов BK6M и P18 с $\gamma=25^\circ$, $\alpha=15^\circ$, $\varphi=60^\circ$, $\varphi_1=10^\circ$ и $\lambda=0^\circ$ при $V=50$ м/мин, $S=0,2\ldots 0,3$ мм/об при черновой обработке и меньше $s=0,125$ мм/об – при чистовой.

Бориды тугоплавких металлов ($\text{ZrB}_2\text{-Mo}$, $\text{TiB}_2\text{-Mo}$, $\text{TiB}_2\text{-Cr}$) являются одним из особо жаропрочных материалов; однако они очень хрупки и восприимчивы к тепловым ударам. Обработка резанием заготовок из боридов определяется их основными механическими характеристиками – повышенной твердостью и хрупкостью. Удовлетворительные результаты при обработке боридов (и тугоплавких металлов) показывают шлифование и резка абразивами, особенно при применении ультразвуковой и анодно-механической обработки. Например, при мощности ультразвукового генератора в 600 Вт производительность обработки боридов составляет $20\ldots 30$ мм³/мин, в то время как обработка твердым сплавом BK8 при тех же условиях дает производительность $6\ldots 8$ мм³/мин.

Глава 9. ОБРАБОТКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

9.1. Обработка материалов на основе полимеров

Придание материалам на основе полимеров соответствующей конструкционной формы с помощью прессования, литья, штамповки и других методов формования не всегда возможно, что связано с усложнением конструкций пресс-форм и самих процессов формирования. Поэтому возникает необходимость в механической обработке (сверление отверстий, выборка пазов, образование поверхностей соприкосновения и др.). Большинство материалов на основе полимеров хорошо поддается обработке реза-

нием и выполняется на обычном металлорежущем оборудовании. Однако скорость резания и скорость подачи, а также инструмент для их обработки должен быть несколько видоизменен в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Следует учитывать также и температурный режим в зоне резания, так как возможны деформирование деталей, деструкция материала, выделение вредных газообразующих продуктов и пыли.

Токарная обработка деталей из пластмасс обычно ведется на универсальных металлорежущих станках и токарных автоматах при высоких скоростях резания, но со снятием тонкой стружки. В большинстве случаев охлаждающую жидкость не применяют, однако при обработке термопластичных материалов допустимая температура в зоне резания не должна превышать 100...120°C, а для термореактивных – 200...300°C. Следует учитывать, что температура в зоне резания определяется не только скоростью резания, скоростью подачи, глубиной резания, свойствами обрабатываемого материала, но и правильностью и качеством заточки режущего инструмента и свойствами материала режущего клина.

При токарной обработке деталей из пластмасс применяются резцы, режущий клин которых изготовлен из быстрорежущей стали (марок P9, P12, P6M3, P10K5Ф5 и др.), твердых сплавов (ВК4, ВК8, Т15К6 и др.), минералокерамики (ЦМ332), кубического нитрита бора (эльбор) и алмазов, т.е. тех материалов, которые имеют высокую теплостойкость и теплопроводность.

Токарные резцы для обработки пластмасс отличаются от аналогичных для обработки металлов углами заточки.

При обработке пластмасс необходимо увеличивать задний угол α резца до 15...25°, так как вследствие высоких упругих свойств пластмасс увеличивается площадь контакта резца с деталью, что приводит к быстрому износу режущей кромки резца и повышенному тепловыделению. Для материалов со сливной стружкой, например, как у термопластов, оптимальный передний угол γ резца находится в пределах 10...20°. При обработке термореактивных материалов с ломкой стружкой передний угол α выбирают в пределах 0...5°, а вершину резца выполняют с радиусом 1,5...3,0 мм. Главный угол ϕ в плане для проходных резцов составляет 45°, а вспомогательный 0...5°, угол наклона режущей кромки $\lambda=0^\circ$.

Скорость резания выбирают исходя из обрабатываемого материала и типа режущего инструмента. Для термопластов, обрабатываемых быстрорежущими резцами, скорость резания выбирается в диапазоне 600...900

м/мин, а при обработке резцами из инструментальной углеродистой стали – до 100 м/мин. Подача при черновой обработке составляет 0,3...0,6 мм/об, при чистовой 0,05...0,2 мм/об. При обработке термореактивных материалов с дисперсными наполнителями скорость резания, в зависимости от вида пластмасс, выбирается в диапазоне 100...500 м/мин. Подача до 0,3 мм/об.

Слоистые пластики типа текстолита и гетинакса обрабатывают быстрорежущими резцами при скоростях резания 50...120 м/мин и твердосплавными – при скоростях 200...300 м/мин и подаче 0,1...0,3 мм/об. Пластики, наполненные стекло- и асболоком, углеграфитными и борными волокнами, обрабатывают твердосплавными резцами при скоростях 125...150 об/мин. Применение алмазного инструмента позволяет повысить скорость резания до 1300 м/мин при подаче 0,05 мм/об и глубине резания до 1 мм. Параметры резца следующие: $\gamma=0...3^\circ$; $\alpha=8...12^\circ$; $\phi=30...90^\circ$; $\phi_1=0...10^\circ$; $\lambda=0^\circ$; $r=0,2...0,3$ мм.

От **режимов обработки** зависит не только производительность процесса, но и шероховатость поверхности, на которую наибольшее влияние оказывает подача. Чем меньше подача, тем меньше высота микронеровностей. При обработке термопластов устойчиво получается шероховатость в пределах $Ra\ 2,5...10$, а при чистовом – $Ra\ 0,63...1,25$ мкм. При обработке термореактивных материалов шероховатость достигается в пределах $Ra\ 2,5...10$ мкм. Меньшей шероховатости можно достичь лишь при обработке алмазным инструментом. Его целесообразно применять для обработки оргстекла с целью получения полной прозрачности обрабатываемой поверхности.

Фрезерование пластмасс. Фрезерованием обрабатываются обычно кромки для последующей стыковки отдельных деталей, листов, реже для дополнительной обработки сложных контуров на уже сформированной детали.

Фрезерование пластмасс осуществляется на обычных горизонтально- или вертикально-фрезерных станках, оснащенных специальными устройствами для улавливания и отсоса стружки и пыли, а также различными зажимными приспособлениями и устройствами.

Обработка ведется цилиндрическими или коническими фрезами со специальным спиральным зубом и углом наклона главных режущих кромок к оси фрезы $\omega=20...25^\circ$, торцевыми и фасонными фрезами.

Фрезы для обработки пластмасс, в отличие от фрез для обработки металла, должны иметь по возможности меньшее число зубьев, так как при этом увеличивается объем стружечных канавок, большие задние углы, простую форму передней поверхности. Большой угол наклона главных режущих кромок к оси фрезы выполняется с целью обеспечения плавности работы и снижения ударной нагрузки на режущие кромки зубьев. Передний угол обычно выбирается в диапазоне $10...15^\circ$, задний – $10...25^\circ$.

При обработке термопластичных материалов угол наклона зубьев к оси фрезы выбирается равным $20...25^\circ$, при заточке допускается фаска на задней поверхности зубьев размером до 0,03 мм. Фрезерование деталей из термопластов производится при скоростях 300...900 м/мин, а реактопластов – 80...200 м/мин, глубина резания рекомендуется не более 2,5...3,0 мм. Охлаждение зоны резания производится струей воздуха, в отдельных случаях используют эмульсии. Фрезы изготавливаются из быстрорежущей стали или из твердых сплавов.

Для обработки реактопластов используют фрезы из быстрорежущей стали или с твердосплавными пластинами. Применяют обычно фрезы с углом наклона спирали $45...50^\circ$, $\alpha=16...25^\circ$, $\gamma=5...8^\circ$. Использование фрезы с наклонным зубом обеспечивает плавность ее врезания в материал и уменьшает количество пыли при обработке наполненных пластмасс.

При обработке слоистых пластиков фрезерованием следует применять специальные фрезы из быстрорежущих сталей с меньшим числом зубьев, чем для металла (обычно 5), с углом наклона главной режущей кромки $\omega=55^\circ$, чтобы направление вращения фрезы совпадало с направлением подачи во избежание расслаивания и сколов материала. Скорость резания выбирают в диапазоне 50...400 м/мин, подача 0,04...0,5 мм/зуб.

Слоистые пластики, армированные стекло- и асболоком, углеродными волокнами, рекомендуется обрабатывать фрезами с твердосплавными пластинами при скоростях резания 125...300 м/мин и подачах 0,1...0,3 мм/зуб. При хлопчатобумажных наполнителях – $V=300...500$ м/мин и $S=0,3...0,5$ мм/зуб. На прорезных фрезах необходимо заточить режущие кромки и по торцу, что снижает трение и улучшает тепловой режим резания.

Плоскости и уступы обрабатываются торцовыми фрезами с твердосплавными пластинами со следующими углами заточки: $\alpha=20...25^\circ$; $\gamma=0...16^\circ$; $\varphi=45...90^\circ$; $\lambda=0^\circ$. Скорость резания для термопластов составляет 200...500 м/мин, для реактопластов стеклонаполненных 40...400 м/мин,

других 200...600 м/мин. Подача для термопластов выбирается в диапазоне 0,3...0,6 мм/зуб, для реактопластов стеклонаполненных 0,03...0,2 мм/зуб, содержащих другие наполнители 0,2...0,7 мм/зуб.

Для обработки фасонных поверхностей деталей применяются фасонные фрезы. При обработке слоистых материалов такими фрезами рекомендуется скорость резания не более 200 м/мин при подаче 0,03...0,08 мм/зуб.

Сверление. Сверление может быть как окончательной операцией, так и предварительной перед зенкерованием, развертыванием и нарезанием резьб. В качестве режущих инструментов используют перовые и спиральные сверла из быстрорежущей стали, сверла с твердосплавными пластинами, алмазные сверла, вырезные резцы.

Отверстия большого диаметра в листовом материале могут вырезаться специальным циркульным резцом (рис. 12).

Сначала сверлится малое отверстие для фиксирования хвостовика инструмента, а затем производят вырезание отверстия необходимого диаметра. При сверлении в пластмассах необходимо учитывать сужение отверстий после обработки на 1..2% вследствие высоких упругих свойств материалов. Соответственно необходимо выбирать сверло большего диаметра. Кроме того, для уменьшения трения ширину направляющей ленточки сверла необходимо делать не более 0,5 мм.

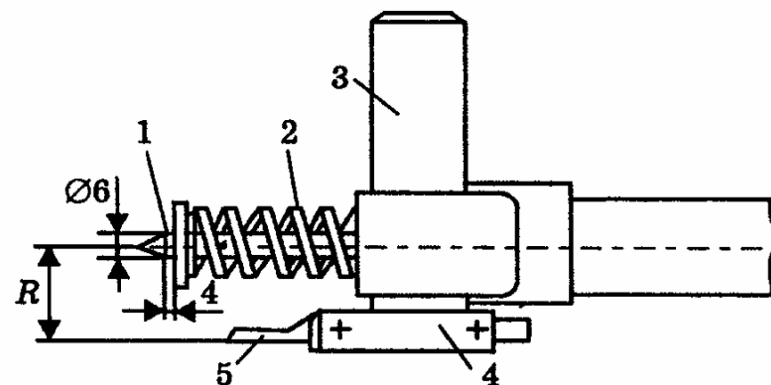


Рис. 12. Циркулярный резец:
1 – хвостовик; 2 – пружина; 3 – траверса;
4 – резцедержатель; 5 – резец

Во избежание выламывания или выкрашивания пластмасс на выходе сквозное сверление нужно производить на гладких прокладках из более мягкого материала, например, из древесины. При глубине сверления более 2,5 диаметров отверстия необходимо периодически извлекать сверло из отверстия для удаления стружки и охлаждения. Желательно охлаждение производить сжатым воздухом. Для лучшего удаления стружки сверло должно иметь больший угол ω ($15...17^\circ$) и широкую стружечную канавку с полированной поверхностью.

Во избежание выкрашивания материала в процессе обработки тонкостенных и полых деталей, а также листового материала из термопластичных материалов применяют сверла с углом при вершине $2\varphi=55...60^\circ$, а для сверления оргстекла – с двойным углом заточки $2\varphi_0=70^\circ$, $2\varphi=130...140^\circ$ (рис. 13). Сверление осуществляется при скорости резания 40...50 м/мин и подаче 0,05...0,1 мм/об.

Лист необходимо зажимать в тисках или между прижатыми пластинами во избежание расслоения. Подача и скорость резания выбираются в зависимости от типа пластика (табл. 46).

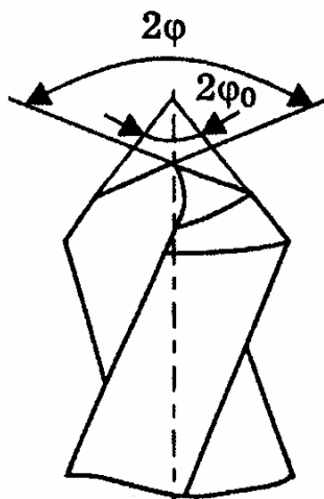


Рис. 13. Сверло с двойным углом заточки

Таблица 46

Режимы резания при сверлении слоистых пластиков

Тип пластика	Материал сверла	Геометрические параметры сверла, град.			Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
		2φ	γ	α		
Гетинакс	BK6	90	–	15...20	30...35	0,1...0,5
Текстолит	BK6	70	–	16	16	0,05...0,1
Стеклотекстолит	BK6, BK8	70...90	15	25...30	25...30	0,08...0,25

Сверление термопластичных материалов может производиться сверлами как из быстрорежущей стали, так и оснащенными твердосплавными пластинами. Сверлами из быстрорежущей стали сверлятся отверстия небольшого диаметра и в реактопластах. Отверстия диаметром более 5 мм в стекло- и асбонаполненных пластмассах обрабатывают твердосплавными сверлами. Скорость резания составляет 45...90 м/мин, а подача – 0,05...0,1 мм/об.

Отверстия малого диаметра в композитах с дисперсным наполнителем выполняют сверлами с углом заточки $2\varphi=30...40^\circ$. Отверстия диаметром более 10 мм необходимо предварительно обработать сверлом диаметром 5...6 мм, а затем рассверлить их большими сверлами.

Для уменьшения трения и износа сверл задние углы делают больше, чем при обработке металла. Обычно $\alpha=10...25^\circ$. Передний угол сверл выбирается в пределах $0...15^\circ$.

При сверлении отверстий в пенопластах используются спиральные сверла, пустотелые сверла-пилы или трубчатые сверла. Отверстия диаметром 10...20 мм обрабатывают спиральными сверлами из углеродистых сталей У8А, У10А. Подрезающие кромки затачивают под углом 30° . Задние поверхности сверла затачивают под углами $\alpha=25^\circ$ и $\alpha_0=60^\circ$. Скорость резания выбирается в диапазоне 40...250 м/мин, подача – 0,3...0,5 мм/об. Сверло необходимо периодически извлекать из отверстия для удаления стружки. Отверстия диаметром до 10 мм можно выполнять с помощью коронок, представляющих собой полый закаленный металлический стержень из стали У10А с заостренной режущей частью. Производится прошивка отверстий без вращения. Отверстия диаметром более 20 мм выполняют трубчатыми сверлами и сверлами-пилами.

Развертывание. При необходимости получения отверстий с более точными размерами после сверления производится развертывание посредством разверток при скоростях резания 40...90 м/мин с подачей

0,1...0,6 мм/об. Обычно под развертку оставляют припуск 0,1...0,2 мм. Достигается 6-7-й квалитеты точности обрабатываемой поверхности.

Используются цилиндрические и конические развертки с прямыми или спиральными зубьями из быстрорежущих сталей с углами заточки $\gamma=0^\circ$, $\alpha=8^\circ$.

Нарезание резьбы в пластмассовых деталях. Получение резьбы в пластмассовых деталях возможно двумя путями: без снятия и со снятием стружки. В первом случае резьба воспроизводится непосредственно при изготовлении детали в форме (однако вследствие усадки пластмасс при отверждении точность такой резьбы невысока). Этот способ применяется для деталей с малонагруженными или неответственными резьбовыми соединениями.

Резьба со снятием стружки оформляется в деталях на металлорежущих станках. Наружную резьбу выполняют резьбонарезными головками, плашками, резцами, резьбовыми гребенками, абразивными кругами, а внутреннюю – метчиками и резцами. Режущий инструмент изготавливается из быстрорежущей стали и твердых сплавов. Твердосплавные метчики применяются с двумя-тремя полированными канавками, несколько более широкими, с передним углом от -10° до $+10^\circ$. Наружный и средний диаметры метчиков увеличивают на 0,05...0,13 мм.

Распиливание пластмасс производится с помощью дисковых, ленточных и циркулярных пил, а для ряда пластмасс – термоэлектрическим методом.

Выбор конструкции режущего инструмента и режимов резания нужно производить с учетом особенностей пластмассы, ее упругих свойств, возможности оплавления в зоне резания и налипать на режущий инструмент, ее теплопроводности и т.д. При заточке зубьев фрез на задних и боковых поверхностях цилиндрические фаски не допускаются. Для обработки пластмасс нельзя использовать фрезы с большим шагом и малым числом зубьев. В контакте с материалом должны находиться одновременно минимум два зуба, что повышает качество реза и предотвращает сколы материала.

Распиловку тонкого листового материала рекомендуется производить пилами с соответствующей формой пластин из твердого сплава (рис. 14) или из быстрорежущей стали с симметричным зубом и разводом 0,3...0,5 мм на сторону. Для распиловки термопластичных материалов толщиной до 15 мм используются фрезы и пилы из легированных сталей 9Х5ВФ,

9Х8, У8А, а также из быстрорежущих сталей диаметром 100...250 мм с числом зубьев 120...140, толщиной до 5 мм, с углами заточки $\alpha=20^\circ$, $\gamma=10^\circ$. Зубья пил должны быть разведены симметрично в обе стороны.

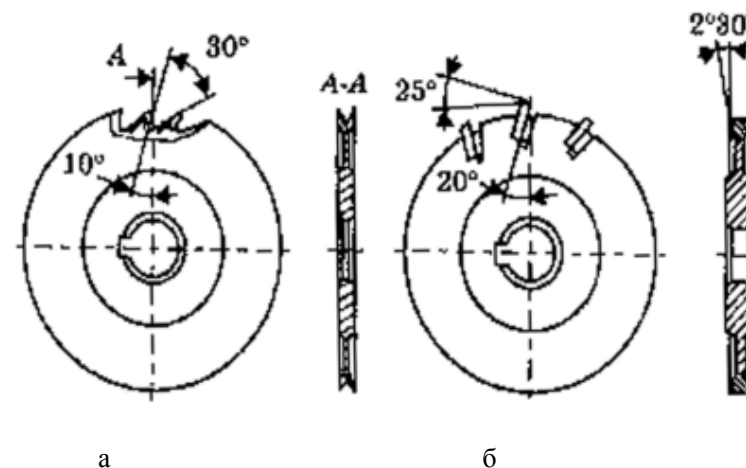


Рис. 14. Дисковые пилы:
а – с разводом зубьев; б – со вставными зубьями

Листовой материал из реактопластов типа гетинакса и текстолита толщиной до 45 мм разрезают дисковыми фрезами из быстрорежущей стали или фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами. При распиловке инструментом из быстрорежущей стали рекомендуется выбирать скорости резания 150...400 м/мин и подачи 0,2...0,5 мм/зуб, а твердосплавным инструментом – соответственно 600...1000 м/мин и 0,07...0,3 мм/зуб.

Разрезку стекло- и асбонаполненных реактопластов производят также корундовыми и алмазными абразивными кругами. Обработку корундовыми кругами толщиной 3...6 мм и диаметром 350 мм следует производить со скоростями резания до 50-60 м/с и подачи 0,01...0,6 м/мин – в зависимости от толщины и направления распиловки относительно армирующих волокон. При разрезке алмазными кругами диаметром 200 мм и толщиной 1,2...2,0 мм на металлической связке высокое качество реза и высокую стойкость инструмента обеспечивают скорости резания 25...30 м/с с подачей 1,0...1,5 м/мин и охлаждение водой.

Для получения деталей фасонного профиля, резки труб, стержней и других профилей применяют разрезку на ленточных станках. Используют

стандартные ленточные пилы (рис. 15) шириной 10...25 мм, толщиной 1,0...1,5 мм с 1,5...5,0 зубьями на 10 мм длины пилы. Зубья пил затачиваются под углами $\gamma=5..8^\circ$ и $\alpha=15...40^\circ$. Листовой материал толщиной до 2 мм режут полотнами с мелким зубом без развода. Распиловку более толстых листов производят пилами с более крупным зубом и разводом в обе стороны на половину толщины пилы. Скорость резания выбирают в диапазоне от 300 до 600 м/мин.

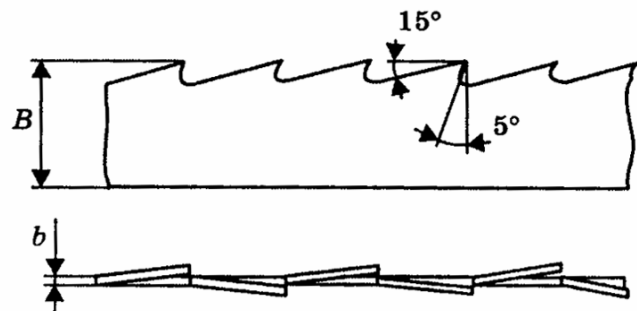


Рис. 15. Ленточное полотно для обработки пластмасс

Тонкий листовый материал можно разрезать ручными ножницами для металла или на механических гильотинах. При этом необходимо обеспечить зазор между лезвиями не более 0,1...0,2 мм, плотно прижимать лист к столу у линии реза. Без подогрева хорошее качество реза обеспечивается на текстолитах и гетинаксах толщиной до 0,8 мм, на штамповочном гетинаксе, текстолите с плотной тканью, асботекстолите толщиной до 1,5 мм, стеклотекстолите до 3 мм. При предварительном подогреве листов до 120°C можно резать на гильотинных ножницах листы толщиной до 3,0 мм, а стеклотекстолит – до 9 мм. Листовые термопласты толщиной до 2,0...2,5 мм, за исключением полистирола и оргстекла, можно резать ножницами без подогрева. Жесткие и хрупкие материалы, например, полистирол, оргстекло, дисперснонаполненные феноло-формальдегидные и мочевино-формальдегидные композиции раскрою ножницами не подлежат.

Вырезку круглых заготовок из листового материала (оргстекла, винипласта) производят циркульным резцом (см. рис. 12).

Пенопласт можно разрезать как механическим путем на ленточных и круглопильных станках, так и термоэлектрическим методом. Круглые пилы применяют с профилем зуба в виде равностороннего или равнобедрен-

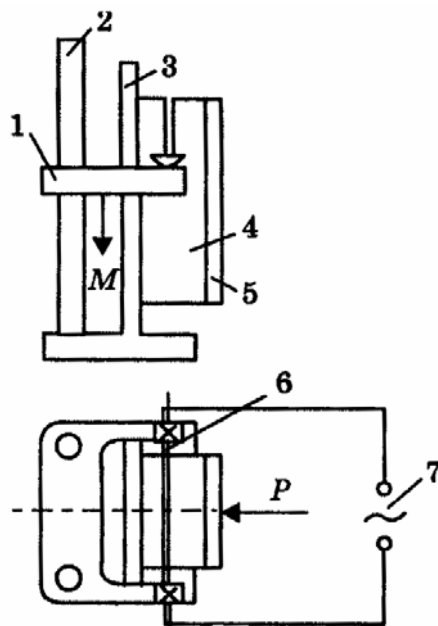
ного треугольника с мелким зубом и разводом на 0,15 мм на сторону. Ленточные пилы применяют с прямоугольным профилем, косой заточкой и разводом на 0,15 мм на сторону. Скорость подачи материала должна быть не выше 1,25 м/мин.

Термоэлектрический метод резки схематически представлен на рис. 16. Разрезаемая заготовка помещается между двумя опорными поверхностями. Проволока из высокоомного сплава (например, нихрома) подключается к низковольтному источнику питания и, нагреваясь до температуры 400...500°C, расплавляет материал. Под тяжестью траверсы она автоматически перемещается вниз, разрезая заготовку. На специальных электролобзиках можно вырезать этим методом любые фасонные изделия.

Шлифование и полирование пластмасс. Шлифование пластмасс можно производить на станках, оснащенных специальными дисками, или ручным способом с помощью наждачной шкурки. Используют этот процесс в основном для снятия заусенцев с деталей, полученных прессованием, для подготовки деталей к склеиванию, а также для обработки поверхностей, подвергающихся механической обработке, если это требуется по условиям эксплуатации.

Для черного шлифования деталей из amino- и фенопластов рекомендуется карборундовые круги твердости M1, M2, C1, CM2 с зернистостью 20...36. Режимы резания следующие: скорость 35...40 м/с, продольная подача 0,07...0,20 мм, поперечная подача 0,1...0,2 мм. Чистовую обработку производят аналогичными кругами, но зернистостью 60...80 при скорости резания 30...40 м/с, глубине 0,01...0,10 мм и поперечной подаче 0,01...0,10 мм.

Рис. 16. Схема
термоэлектрического
метода резки пенопласта:
1 – траверса; 2 – стойка; 3 –
упор; 4 – заготовка;
5 – прижим; 6 – высокоомная
провода; 7 – источник



Текстолит обрабатывают абразивными кругами зернистостью 30...40 на мягкой связке, со скоростью резания не менее 25 м/с при глубине 0,1 мм и поперечной подаче 3...5 мм/дв.х.

Термопласты шлифуют мягкими кругами, набранными из плотного полотна (муслина или сукна), смазанного пастой из тонкоизмельченной пемзы. Для исключения «прижога» материала при обработке необходимо, чтобы длительность контакта круга с изделием была не более 1,5 с, а давление не более 0,05...0,15 МПа.

Полирование деталей производят с целью устранения с их поверхностей следов предшествующих технологических операций и поверхностных дефектов, полученных в процессе изготовления (например, матовости поверхностей), а также придания им блеска.

Полировальные круги изготавливают наборными из тканей (хлопчатобумажной, байковой, суконной). Твердые полировальные круги набираются в шайбы (диаметром 200...400 мм) и толщиной 60...100 мм, зажатые с двух сторон металлическими прокладками. Применяют их для выведения рисок, царапин и других глубоких дефектов.

Окончательное полирование производят мягкими и самоохлаждающимися дисками. Самоохлаждающиеся диски изготавливают путем набо-

ра и уплотнения пакета из хлопчатобумажных дисков диаметром 150...300 мм и 40...75 мм, чередуя каждый диск большого диаметра двумя малыми. Толщина пакета обычно составляет 100...120 мм. В качестве полировальных паст для сухого полирования используют абразивные компоненты (карборунд, корунд, оксид хрома и др.) в различных соотношениях с воскообразными веществами или маслами (парафином, церезином, пчелином воском, машинным, веретенным и другими маслами).

«Сухое» полирование применяют для реактопластов. Для термопластов применяют «мокрое» полирование составом, состоящим из измельченной пемзы двух сортов, взятых в соотношении 0,5...1,5, замешанных на воде до густой пасты, наносимой на полировальные круги. Эти составы используют для грубой полировки. После промывки выполняют окончательное «сухое» полирование.

При обработке оргстекла может применяться «огневое» полирование, заключающееся в воздействии водородно-воздушного пламени в течение нескольких секунд на предварительно обработанную поверхность.

9.2. Обработка древесных материалов

Сопротивление древесины резанию обуславливается ее породой и направлением резания. В зависимости от расположения волокон древесины возможно резание торцевое, продольное, поперечное и (гораздо реже) под углом. При этом сопротивление резанию вдоль направления волокон в 2-3 раза, а по торцу в 6 раз выше, чем при резании в поперечном направлении. Сила резания также зависит от угла резания и остроты режущей кромки. При затуплении резца возникают деформации, смятия волокон, сопровождаемые действием сил упругого восстановления, которые могут достигать уровня силы резания (для тупого резца). Шероховатость поверхности снижается с уменьшением угла резания, толщины стружки и увеличением скорости резания.

Для продольной распиловки древесины применяют пилы с подрезом спинки (рис. 17, а), а для поперечной – пилы с профилем зуба, приведенным на рис. 17, б и в.

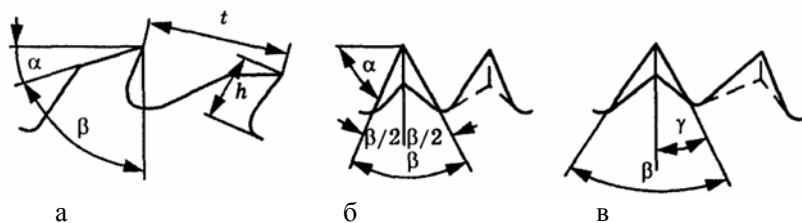


Рис. 17. Геометрия зубьев пил для продольной (а) и поперечной (б, в) распиловки древесины: б – с симметричным; в – с асимметричным профилем

Для распиловки хвойных пород применяют пилы, имеющие зуб с прямой спинкой ($\alpha=30...35^\circ$, $\delta=70...75^\circ$), для твердых пород – с подрезом спинки или с выпуклой спинкой ($\alpha=15...20^\circ$, $\delta=60...80^\circ$).

Для улучшения качества поверхности в месте распила и снижения мощности резания используют косую заточку пил (рис. 18). С целью снижения сил трения между разрезаемым материалом и боковыми поверхностями зубьев пил применяют развод зубьев (отгибание их верхней части поочередно влево и вправо) на 0,15...0,80 мм на каждую сторону. Большой развод выполняется при распиловке влажной и мягкой древесины. Однако развод пил несколько ухудшает качество пропила. Более высокое качество реза и снижение сил трения при резании достигается при распиловке дисковыми пилами с зубьями, утолщающимися к периферии, для которых отпадает необходимость в разводке.

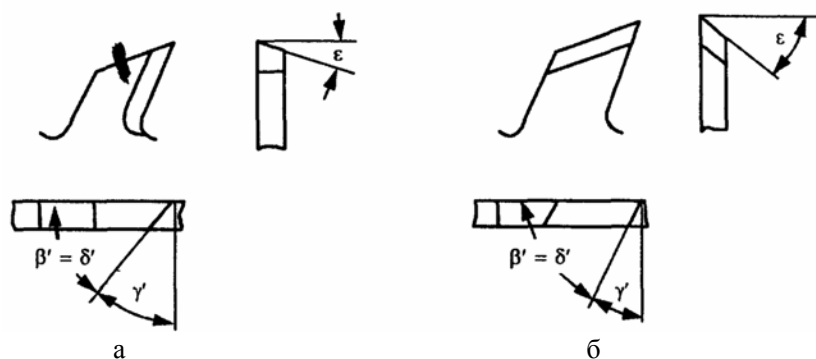


Рис. 18. Пример косой заточки зубьев пилы по передней (а) и задней (б) поверхностям

Для распиловки древесины используют круглые (дисковые), ленточные и лобзиковые пилы. Круглые пилы представляют собой стальные диски с зубьями по контуру. Зубья могут быть изготовлены из материала диска, с напаянными пластинами из твердых сплавов или вставными (для сборных пил большого диаметра).

Ленточные пилы выполняются в виде непрерывной ленты шириной 40...50 мм с зубьями на передней кромке.

Лобзиковые пилы применяются для выпиливания внутренних замкнутых контуров. Их изготавливают длиной 130...140 мм, толщиной 0,3...0,7 мм, шириной 1,5...5,0 мм с зубьями по профилю прямоугольного треугольника с углом резания 90° .

Обработка больших плоских поверхностей производится на строгальных станках. В качестве рабочего инструмента используют строгальные ножи, устанавливаемые во вращающуюся вокруг горизонтальной оси головку (рис. 19). Высота ножей регулируется посредством винтов 2. Крепление ножей в пазах осуществляется прижимной планкой 4 с помощью распорных винтов 5.

Заточку ножей обычно производят по задней грани, обеспечивая угол $\beta=45^\circ$, применяют также двойную заточку ножей. Угол резания δ выбирают в диапазоне $55...80^\circ$ в зависимости от твердости породы. Чем тверже древесина, тем больше угол резания.

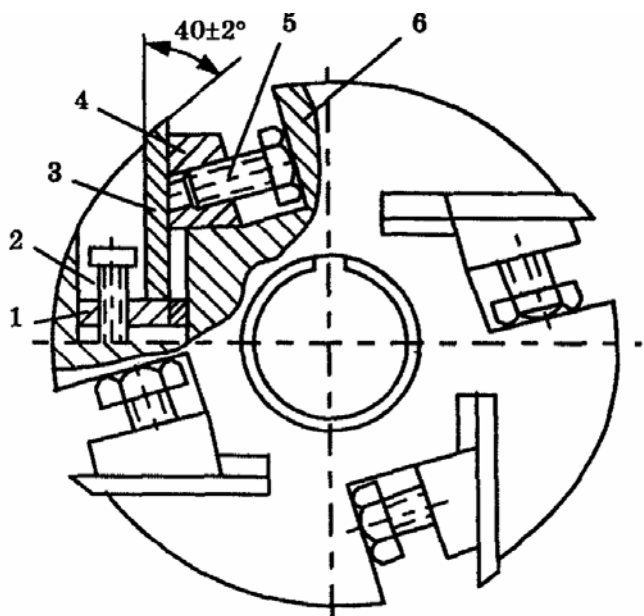


Рис. 19. Ножевая головка:

1 – планка; 2 – регулировочный винт; 3 – нож; 4 – прижимная планка; 5 – распорный винт; 6 – корпус головки

Фасонную обработку древесины производят на фрезерных станках. Используются как цилиндрические и фасонные фрезы, крепящиеся на цилиндрической оправке в шпинделе станка, так и концевые, крепящиеся непосредственно в шпинделе станка.

Пазовые и прорезные фрезы выполняют с косой заточкой боковых поверхностей зубьев под углом $1,5...3,0^\circ$ для создания зазора между боковой поверхностью фрезы и обрабатываемой поверхностью с целью снижения сил трения. Заточка фрез производится по передней поверхности. При обработке на копировально-фрезерных станках используют концевые двухрезцовые фрезы с прямым и спиральным расположением режущих кромок, а также односторонние заточенные и незаточенные фрезы. У незаточенной фрезы задняя поверхность выполнена по дуге окружности из центра фрезы. Для снижения сил трения при обработке такие фрезы крепятся в патроне эксцентрично. Концевые фрезы для внутреннего фрезерования изготавливаются с дополнительными торцевыми режущими элементами для первоначального заглубления режущего инструмента.

Конструкция сверл для обработки древесины (рис. 20) учитывает особенности ее волокнистого строения и анизотропию механических свойств. Широкое применение для сверления поперек волокон имеют центровые сверла с подрезателями. Подрезатель перерезает волокна, режущая кромка их скалывает. Для предотвращения увода сверла в сторону предусмотрен направляющий центр. Для глубокого сверления вдоль волокон применяют ложечные и спиральные сверла, для выполнения отверстий под головки болтов, винтов, шурупов используются раззенковочные сверла. Сверление древесины производят при частоте вращения 3...10 тыс. об./мин с подачей 0,1...0,3 мм/об для твердых пород и фанеры, 0,5...2,0 мм/об для мягких пород древесины.

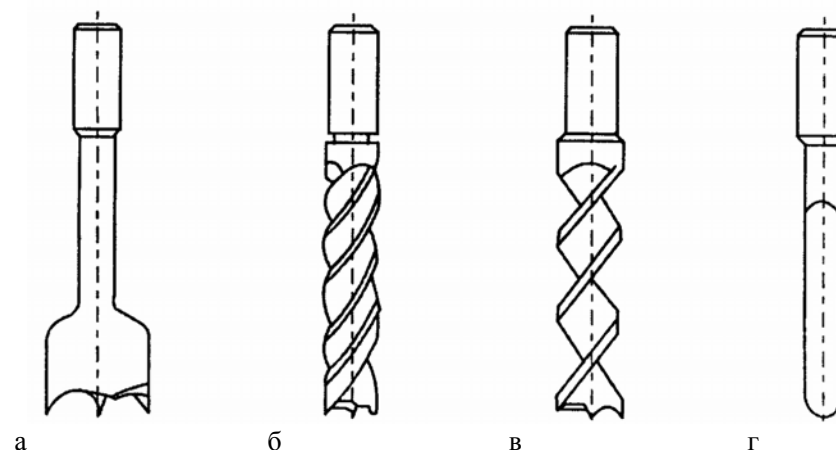


Рис. 20. Сверла для обработки древесины:

а – центровое с подрезателями; б – спиральное с подрезателями; в – винтовое; г – ложечное

9.3. Обработка неорганических материалов

Характерной особенностью неметаллических конструкционных материалов (пьезокерамика, вакуумная и конденсаторная керамика, керамика, стекло, ферриты, полупроводники, двуокиси кремния, талька, кварца и др.) является их низкая обрабатываемость, высокая твердость, износостойкость и склонность к разрушению при местной даже незначительной концентрации напряжений. Обработка этих материалов режущим инструментом затруднена, а абразивным – малопроизводительна. На обработан-

ной поверхности деталей часто возникают сколы, трещины и микротрещины, которые очень трудно вывести при последующих чистовых операциях.

Широко распространенным методом механической обработки таких материалов является обработка алмазными кругами.

Алмазные круги, как и абразивные, характеризуются геометрической формой, материалом абразивного зерна, типом связки, величиной зерен, степенью твердости, структурой, расположением зерен и т.д. Одним из основных параметров характеристики является зернистость алмазов в алмазоносном слое круга. В табл. 47 приведено влияние зернистости алмазов на обработку различных материалов.

Таблица 47

Влияние зернистости алмазных зерен круга на показатели обработки неметаллических материалов

Материал	Связка круга	№ зерна	Удельный расход алмазов q , $\text{м}^2/\text{г}$	Производительность Q , $\text{г}/\text{мин}$	Класс чистоты
Керсил	М5	100/80	0,41	1,15	$\nabla 7a$
		125/100	0,52	1,1	$\nabla 7a$
		160/125	0,46	1,12	$\nabla 6b$
		200/160	0,22	1,28	$\nabla 6b... \nabla 7a$

Окончание табл. 47

Материал	Связка круга	№ зерна	Удельный расход алмазов q , $\text{м}^2/\text{г}$	Производительность Q , $\text{г}/\text{мин}$	Класс чистоты
Стекло К8	М52	100/80	0,31	2,8	$\nabla 8b... \nabla 8b$
		200/160	0,44	2,5	$\nabla 7a... \nabla 7b$
		315/250	0,51	2,8	$\nabla 6a... \nabla 7b$
Техническое стекло	М52	100/80	0,04	5,04	$\nabla 7b$
		200/160	0,14	5,32	$\nabla 7b... \nabla 7b$
		315/250	0,34	2,68	$\nabla 6b$

Обычно при шлифовании алмазными кругами выбирают следующие режимы: $V_k = \text{м}/\text{с}$, $S_{\text{шп}} = 0,9 \text{ мм}/\text{ход}$, $S_{\text{пр}} = 8...12 \text{ м}/\text{мин}$, $t = 0,3...0,6 \text{ мм}$.

Шлифование проводят с охлаждением струей 2%-ного водного раствора экстрадиола в количестве 10...12 л/мин. Эти режимы являются наиболее оптимальными.

При обработке неорганических материалов алмазными кругами изменение сил резания носит пульсирующий характер. Циклическое действие сил резания и температурные факторы создают благоприятные условия для разрушения алмазных зерен и износа алмазного круга, что определяет стойкость алмазного инструмента. В зависимости от формы, а также прочностных характеристик алмазные зерна обладают различной способностью противостоять действию внешних сил; если нагрузка превышает некоторый определенный для данных конкретных зерен предел, то наступает разрушение. Температурные воздействия могут создавать благоприятные условия для появления термических трещин на поверхности зерен алмаза. Циклическое действие силы приводит к вырыванию отдельных участков из основной массы алмазного зерна. Интенсивность износа круга по мере его эксплуатации неравномерна (вначале износ незначителен, спустя 50...80 мм износ достигает пикового значения, затем снижается в 2-3 раза и удерживается постоянным на протяжении 210...270 мин, после чего начинает интенсивно возрастать). В период стабильного износа круга по мере увеличения времени работы производительность процесса снижается, а шероховатость обработанной поверхности детали растет.

Наибольшую эффективность механической обработки хрупких неорганических конструкционных материалов обеспечивает процесс шлифования с применением кругов типа АПП200 из синтетических алмазов АСР зернистостью 200/160 и 100% концентрации алмазов на поверхности круга. Керамические материалы на основе двуокиси кремния (керсил, ниасит и др.), а также кварцевое стекло рекомендуется обрабатывать кругами на связках ТО2, МК и М1, стекла группы тяжелых флинт – кругами МК, ТО2 и М52, а боросиликатные стекла – кругами М52 и М1.

При резании труднообрабатываемых материалов очень широко применяется ультразвук. Этот метод особенно эффективен при изготовлении отверстий и полостей сложной формы, получение которых другими методами затруднено или вообще невозможно.

При ультразвуковой обработке достигается высокое качество поверхностного слоя, что приводит к существенному повышению износостойкости и усталостной прочности твердосплавных штампов, матриц, прессформ, фильер и др. Зачастую ультразвуковой способ обработки совмещают с электрохимическим, при этом производительность обработки повышается в 10 раз, а износ инструмента снижается в 8-10 раз.

Метод ультразвуковой размерной обработки сводится к подаче в зону работы инструмента абразивной суспензии (зачастую под давлением) и ультразвуковых колебаний от концентратора колебаний, подключенного к ультразвуковому генератору. Для повышения производительности процесса применяют одновременное сообщение вращательных движений инструменту и заготовке.

Для ультразвуковой обработки стекла, минералокерамики и других хрупких материалов используется способ обработки непрофилированным инструментом – тонкой проволокой. В натянутом между двух опор инструменте – проволоке 2 (рис. 21), постоянно наматывающейся на катушку 5, возбуждаются ультразвуковые колебания от концентратора 1; обрабатываемая деталь 3 с небольшой силой P прижимается к инструменту, а в зону контакта инструмент – деталь подается абразивная суспензия. Получается своеобразный «ультразвуковой лобзик», который позволяет вести контурную вырезку, обработку узких пазов (шириной менее 0,1 мм), разрезку заготовок (при толщине обрабатываемого материала более 10 мм).

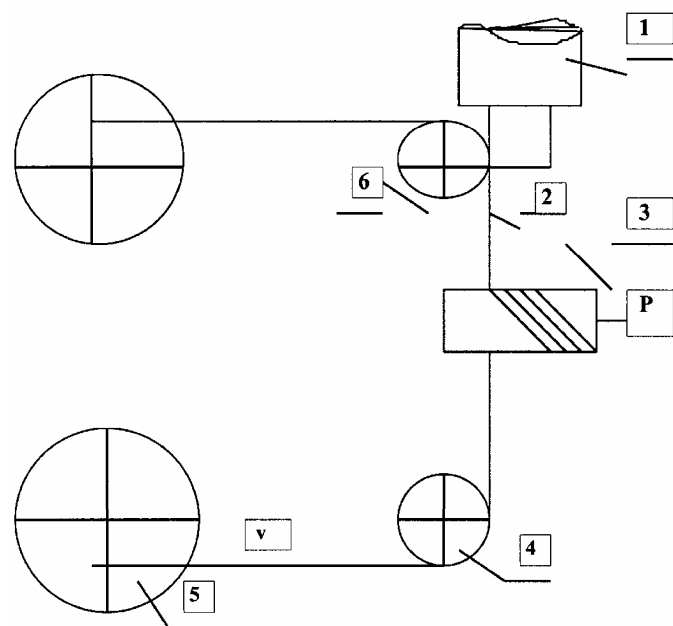


Рис. 21. Схема ультразвуковой обработки непрофилированным инструментом – проволокой:

1 – концентратор; 2 – инструмент – проволока; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – направляющий ролик; 5 – катушка; 6 – прижимной ролик

При механической обработке твердых неметаллических материалов, особенно при сверлении отверстий малого диаметра на большую глубину, применяется ультразвуковое резание с обработкой вращающимся алмазным инструментом. Для этой цели используются специальные ультразвуковые вращающиеся головки, устанавливаемые на обычных металлорежущих станках. Также возможно применение специализированных ультразвуковых станков (например, марки МЭ-22).

Ультразвуковое сверление стекла, керамики и ситаллов алмазным инструментом на металлических связках является высокопроизводительным способом обработки глубоких отверстий (диаметром 3...10 мм и глубиной до 500 мм). Наиболее высокие режущие свойства имеют синтетические монокристаллы алмазы САМ и натуральные алмазы. Технологические характеристики алмазного сверления существенно зависят от прочностных свойств связки, увеличение прочности связки в 1,5-2 раза приводит к повышению производительности на 50...60% и снижению удельного расхода алмазов в 2 раза. Наиболее высокие режущие свойства имеют сверла на металлических связках М5-6 и М5-10. Оптимальные режимы сверления отверстий малого диаметра: удельная сила подачи $p=200...400 \text{ Н/см}^2$, число оборотов $n=1800...2400 \text{ об/мин}$, амплитуда колебаний режущего инструмента 10...11 мкм, зернистость алмазов АМ160/125 и САМ 160/125, концентрация $K=100...150\%$.

Большинство резиновых материалов легко поддается обработке резанием. Однако высокая эластичность резиновых материалов не позволяет при обычной температуре придать резиновому изделию соответствующую конфигурацию с требуемой точностью. Исключение составляют эбониты и многослойно армированные резиновые материалы. Благодаря высокой твердости эбонита он хорошо обрабатывается резанием на металлорежущих станках с применением тех же режущих инструментов, что и для обработки конструкционных сталей. Эбонит хорошо обрабатывается точением, фрезерованием, легко сверлится, развертывается, поддается нарезанию резьбы, очень хорошо полируется и т.д., однако достаточно хрупок.

В основном требуемая форма резиновых изделий получается формовкой с последующей вулканизацией. Однако на практике зачастую возникает необходимость обработки резины резанием. Для придания резине

требуемой твердости заготовку замораживают до достаточно низкой температуры, например, помещают на некоторое время в жидкий азот. Затем осуществляют обработку резанием. Следует учитывать, что после замораживания линейные размеры полученной детали изменяются (увеличиваются) за счет значительного температурного коэффициента линейного расширения. Точность изготовления детали зависит от опыта специалиста по обработке материалов резанием. Процесс замораживания и последующего размораживания может также привести к незначительному изменению физико-механических свойств материала обработанной детали.

Глава 10. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ И ПРЕССОВАНИЕМ

10.1. Способы обработки материалов давлением и прессованием

Обработка материалов давлением и прессованием предусматривает ряд технологических методов (прямое прессование, литьевое прессование, литье под давлением, центробежное литье, экструзия, штамповка, пневмо- и вакуумформование и др.), от которых зависит устройство и вид технологического оборудования, причем в большинстве случаев обработка материалов осуществляется при определенной температуре.

Схема изготовления детали методом прямого прессования представлена на рис. 22. Она предусматривает наличие пуансона, толкателя для удаления детали из пресс-формы, матрицы и устройства, создающего требуемое давление. Загрузка материала для прессования строго дозирована. Если обработка материала идет при температуре, отличной от температуры окружающей среды, то осуществляется подогрев материала и пресс-формы. Подогрев может осуществляться самыми различными методами, наиболее распространенными из которых являются спиральный (терморезистивный) и нагрев токами высокой частоты (10...20 МГц).

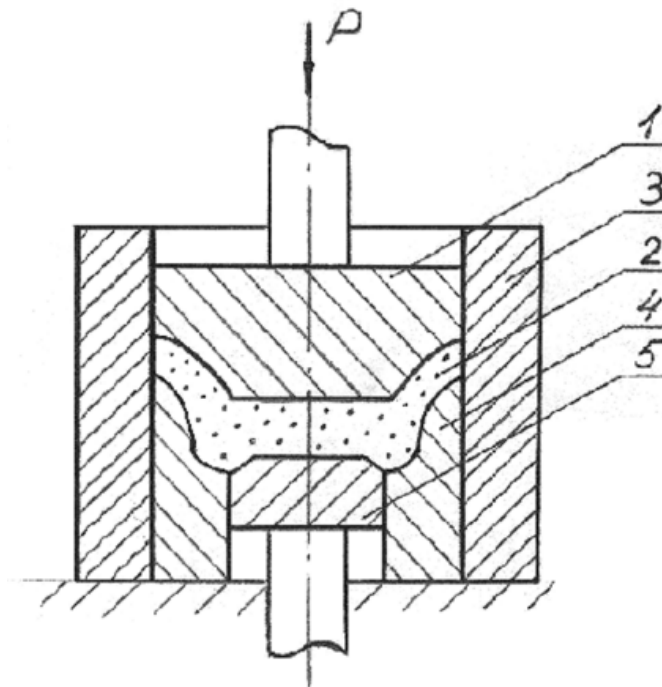


Рис. 22. Схема изготовления детали методом прямого прессования:
1 – пуансон; 2 – обрабатываемый материал;
3 – корпус; 4 – матрица; 5 – толкатель

Длительность нахождения материала в пресс-форме зависит от свойств обрабатываемого материала. В зависимости от природы обрабатываемого материала удаление готового изделия из пресс-формы может осуществляться либо сразу после формирования, либо оно требует охлаждения (нагрева) вместе с пресс-формой (технологический процесс требует наличия большого количества пресс-форм). Готовая деталь извлекается из формы только после полного отверждения материала. При такой обработке вес пресс-формы с материалом не должен превышать 20 кг.

Метод прямого прессования наиболее прост, однако имеет много недостатков: сложность организации массового производства деталей, трудность изготовления тонкостенных изделий и деталей сложной конфигурации. При литьевом давлении и прессовании (рис. 23) перерабатываемый

материал загружают в обогреваемую камеру, содержащую воронку для загрузки материала, корпус, пуансон и литниковую систему. Замкнутая пресс-форма перемещается к обогреваемой камере так, чтобы литниковая система состыковалась с литником пресс-формы. После нагрева пресс-массы до температуры перехода в вязкотекучее состояние материал под давлением пуансона через литниковую систему подается в формирующую полость пресс-формы. После отверждения массы деталь извлекается из формы. Зачастую требуется предварительный подогрев пресс-формы, а также иногда требуется охлаждение детали в пресс-форме на воздухе, обдувом или в другой среде.

К пресс-форме предъявляется ряд требований в части выдержки технологических углов изготавливаемой детали, шероховатости рабочих поверхностей пресс-формы (обычно шлифование с последующим никелированием) и др. При обработке некоторых материалов на внутреннюю полость пресс-формы наносят антиадгезионные материалы.

Отличие литьевого прессования от литьевого давления заключается в том, что при прессовании в техническом цикле изготовления детали используется весь материал, загружаемый во внутреннюю полость обогреваемой камеры. Это особенно важно для термоактивных материалов, время нахождения которых в вязкотекучем состоянии мало. Для этого используют специальное дозирующее устройство или ограничивают объем обогреваемой камеры.

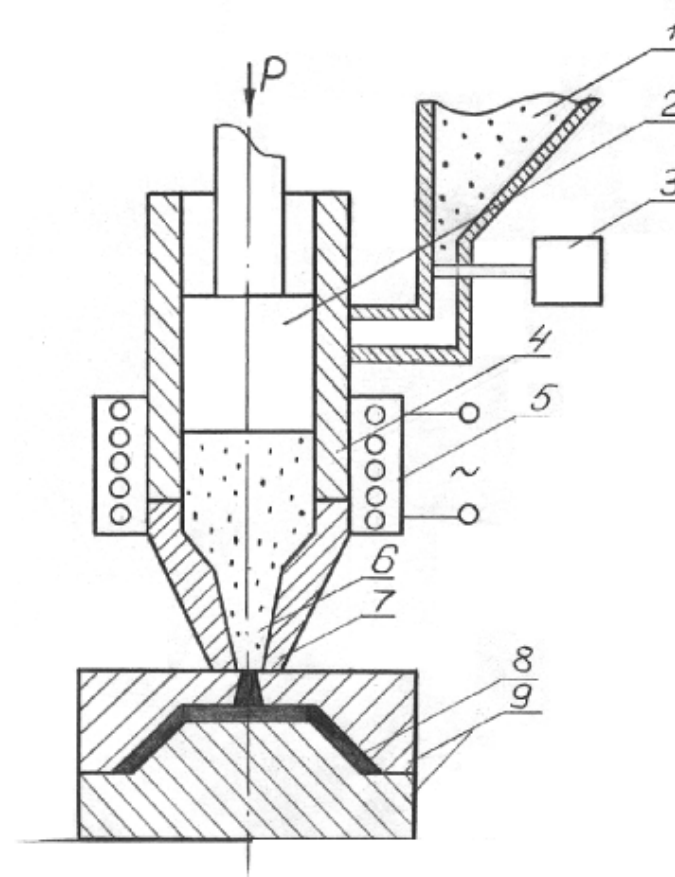


Рис. 23. Схема литьевого давления и прессования:
1 – воронка; 2 – поршень; 3 – дозирующее устройство;
4 – цилиндр обогревательной камеры; 5 – нагреватель;
6 – перерабатываемый материал; 7 – мунштук;
8 – изготавливаемое изделие; 9 – детали пресс-форм

Пресс-форма может состоять из двух и более деталей – в зависимости от сложности конфигурации изготавливаемого изделия.

Этот метод более технологичен, чем метод прямого прессования, и позволяет изготавливать тонкостенные детали самой сложной конфигурации. Литье может производиться как в одно-, так и в многостенные формы, что определяется геометрическими размерами и массой деталей, а также возможностями литьевой машины.

При наличии большого количества пресс-форм и автоматизации процесса изготовления деталей литье под давлением можно использовать и для тех материалов, время нахождения которых в вязкотекучем состоянии мало. Для этого используется шнековая подача материала (рис. 24). При шнековой подаче материал захватывается из бункера червяком и перемещается по винтовому каналу вдоль цилиндра к соплу, при этом происходит перемешивание материала, его уплотнение и равномерный нагрев. Причем нагрев осуществляется не только за счет внешнего источника теплоты, но и за счет трения и сдвиговых усилий в канале червяка, особенно в момент перемещения к соплу очередной пресс-формы, когда сопло перекрыто. Необходимая доза впрыска материала в пресс-форму осуществляется поступательным перемещением червяка под действием гидроцилиндра.

Для материалов, требующих значительного давления при прессовании, применяются литьевые машины с раздельными цилиндрами пластикации и ижекции. Из пластикационного канала под создаваемым червяком давлением материал, находящийся в вязкотекучем состоянии, поступает в ижекторный цилиндр, откуда под действием плунжера впрыскивается в литьевую форму. Для литья многоцветных изделий применяются литьевые машины с несколькими парами пластикационных и ижекторных цилиндров, причем последние работают на одно сопло с последовательным или одновременным впрыскиванием.

Машины для центробежного литья представляют собой формующую матрицу, которая имеет горизонтальное, вертикальное или пространственное вращение. Расплавленная масса заливается в форму и приводится во вращение. Под действием центробежных сил расплав заполняет периферийную зону матрицы и, застывая, приобретает нужную форму и размеры. Для качественной переработки материала матрица предварительно подогревается до требуемой температуры.

Для изготовления фасонных изделий, длина которых во много раз превосходит размеры поперечного сечения (полосы, пленки, шланги, трубы и др.), применяют методы экструзии, каландрирования, экструзокаландрирования, экструзионно-раздувного формования. При этом подача перерабатываемого материала может быть как шнековой, так и плунжерной, шнек-плунжерной.

Плунжерная обработка материала (рис. 25) заключается в загрузке определенной дозы материала в рабочий цилиндр, создание соответствующего

температурного режима обработки и выдавливания материала через литьевое отверстие (фильер), имеющее соответствующую форму профиля изготавливаемого изделия (рис. 26). На выходе литьевого отверстия устанавливают обрезающий механизм. Готовые изделия обрезаются на требуемую длину, подвергаются соответствующей обработке и укладываются в лотки.

При шнековой подаче материала процесс экструзии осуществляется непрерывно. Пример изготовления труб этим методом представлен на рис. 27. Материал загружается в бункер и с помощью вращающегося шнека передвигается вдоль обогреваемого цилиндра к фильеру, имеющему соответствующий профиль. Формирование внутреннего диаметра трубы осуществляется с помощью дорна, а внешнего – калибрующим мундштуком. Для уплотнения материала по мере продвижения к фильеру и создания необходимого давления шнек изготавливается или с переменным шагом, уменьшающимся по ходу перемещения материала, или с переменным живым сечением, уменьшающимся в том же направлении. Выходящее из экструдера изделие охлаждается и наматывается на барабан или скручивается в бухту.

Для изготовления труб большого диаметра используются экструзионно-обмоточные станки, в которых выходящая из экструдера гладкая или профилированная лента наматывается по спирали на вращающийся цилиндр и затем сваривается внахлест. Сварка может осуществляться как за счет подогрева цилиндра (сплавление полимеров, резины и др.), так и с помощью

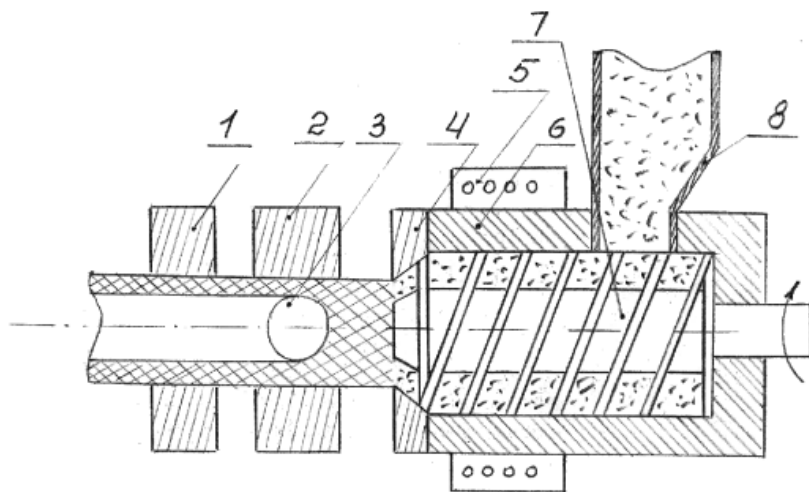


Рис. 27. Схема получения труб методом экструзии:
1 – охлаждающее устройство; 2 – калибрующий мундштук;
3 – дорн; 4 – фильер; 5 – рабочий цилиндр; 6 – нагреватель;
7 – червяк; 8 – бункер

сварочного оборудования. При этом способе в качестве армирующего материала также возможно использование лент на тканевой, сетчатой и других основах.

Для получения тонких пленок используют метод раздува горячей цилиндрической заготовки, поступающей из экструдера или щелевой головки (рис. 28). Внутри трубчатой заготовки подается под определенным давлением сжатый воздух, деформирующий ее во всех направлениях до определенной толщины, пленка отверждается на воздухе, обжимается валками и поступает на приемный барабан.

Для изготовления многослойных и армированных пленок применяют метод соэкструзии, при котором используется несколько шнековых экструдеров, работающих на одну общую рабочую головку.

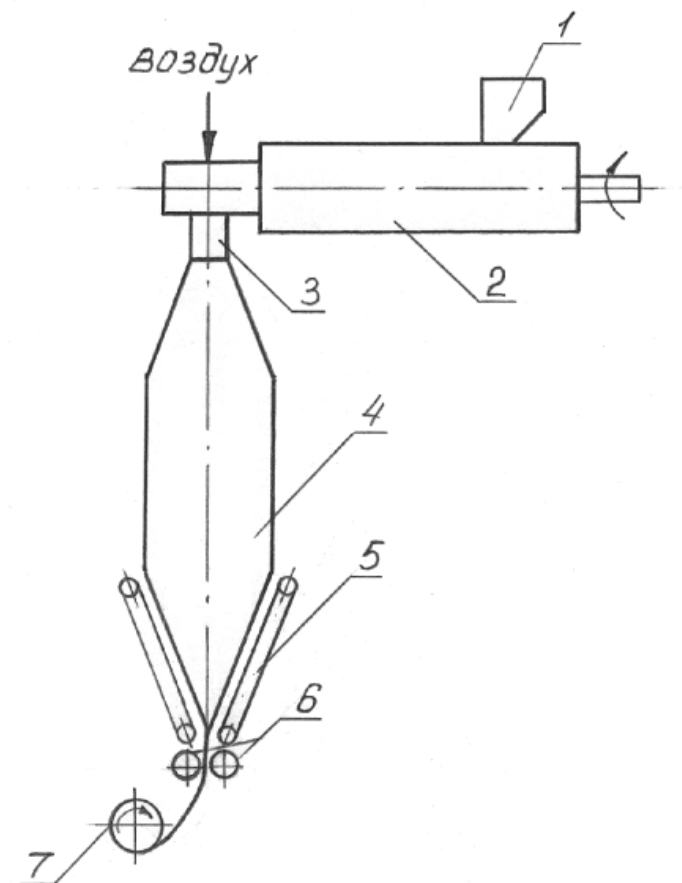


Рис. 28. Схема получения тонких пленок раздувом:
1 – бункер; 2 – шнековый экструдер; 3 – щелевая головка;
4 – пленка; 5 – бесконечная лента; 6 – обжимные валки;
7 – приемный барабан

Метод экструзионно-раздувного формования также используется для изготовления различных емкостей (канистр, фляг, бутылок и др.). Процесс осуществляется в две стадии: на первой изготавливается трубчатая заготовка, на второй – под действием давления воздуха в пресс-форме формируется изделие, после охлаждения готовое изделие извлекается из формы или поступает на вулканизацию (рис. 29).

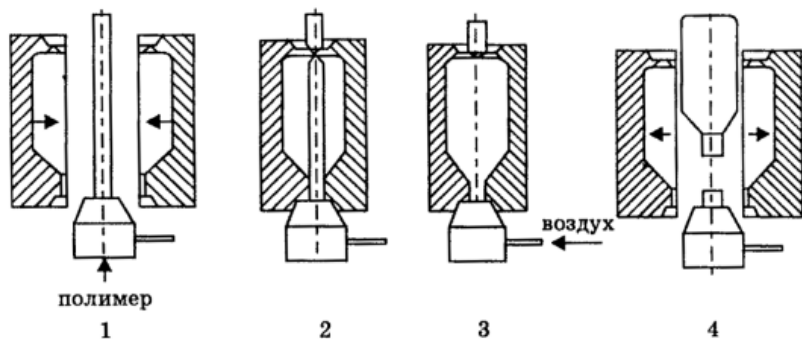


Рис. 29. Изготовление пластмассовых сосудов методом экструзионной раздувки:

1 – экструзия трубчатой заготовки; 2 – сдавливание дна; 3 – раздувка сосуда; 4 – выдувка изделия

Формирование листовых материалов, а также изготовление изделий из них осуществляется методами прессования, штамповки, пневмо- и вакуумформования.

При прессовании листовых материалов перерабатываемое сырье или заготовка размещаются между двумя плитами статического пресса. Создается давление, которое выдерживается на протяжении определенного времени в зависимости от вида обрабатываемого сырья. Формы смыкающихся плит имеют форму готового изделия. Для придания изделию требуемых свойств материал подвергают соответствующей термической обработке.

Штамповка материалов осуществляется в прессах динамического (ударного) действия. При этом процесс придания материалу определенной конфигурации и формы может сопровождаться его обрезкой.

Штампы содержат матрицу и пуансон, имеющие соответствующую готовому изделию конфигурацию. В зависимости от прочности обрабатываемой заготовки количество ударов пуансона о материал, находящийся на матрице, может быть различным. Процесс легко автоматизируется.

Пневмо- и вакуумформование применяется для изготовления изделий сравнительно большого размера.

10.2. Обработка металлов

Во всех случаях обработки давлением требуемая форма и необходимые размеры изделию (заготовке) придаются пластической деформацией

исходной заготовки, имеющей форму слитка или болванки, уже прошедшей предварительную обработку давлением. Таким образом, сущность обработки металла давлением состоит в целенаправленной пластической деформации, придающей ему определенные форму и размеры, в ходе которой разрушается грубозернистая литая структура, устраняются пористость и рыхлость, улучшается металлургическое качество и создается благоприятная ориентировка вновь образовавшихся структурных составляющих металла.

Вследствие благоприятных структурных изменений, происходящих при обработке давлением, металл получает более высокий комплекс прочностных и пластических свойств по сравнению с литыми изделиями. При горячей обработке давлением, когда металл обладает большой пластичностью при малой прочности, его зерна вытягиваются и трансформируются в волокна.

Волокнистое строение металла обеспечивает важные преимущества по сравнению с обычной зернистой структурой, поскольку прочность деформированного металла на разрыв вдоль волокон оказывается значительно выше, чем в поперечном направлении.

То же можно сказать и о сопротивлении срезающим нагрузкам: прочность на срез поперек волокон значительно выше, чем вдоль них. Зная характер нагружения отдельных элементов деталей в эксплуатационных условиях, можно еще при изготовлении заготовок придавать волокнам наиболее выгодную ориентировку, отвечающую характеру нагружения соответствующих элементов деталей, и этим обеспечивать большой запас прочности деталей.

Заготовки для деталей, полученные обработкой давлением, принято называть поковками. Исходными заготовками для крупных поковок, как правило, служат стальные слитки. Заготовки для мелких поковок получают путем разрезки на мерные куски-болванки так называемых прокатных профилей – металлических балок или прутков различной формы поперечного сечения, получаемых прокаткой.

Прокатка. Прокатка представляет собой процесс деформирования слитка или иной продолговатой металлической заготовки между двумя вращающимися валками, расстояние между рабочими поверхностями которых меньше высоты заготовки (рис. 30).

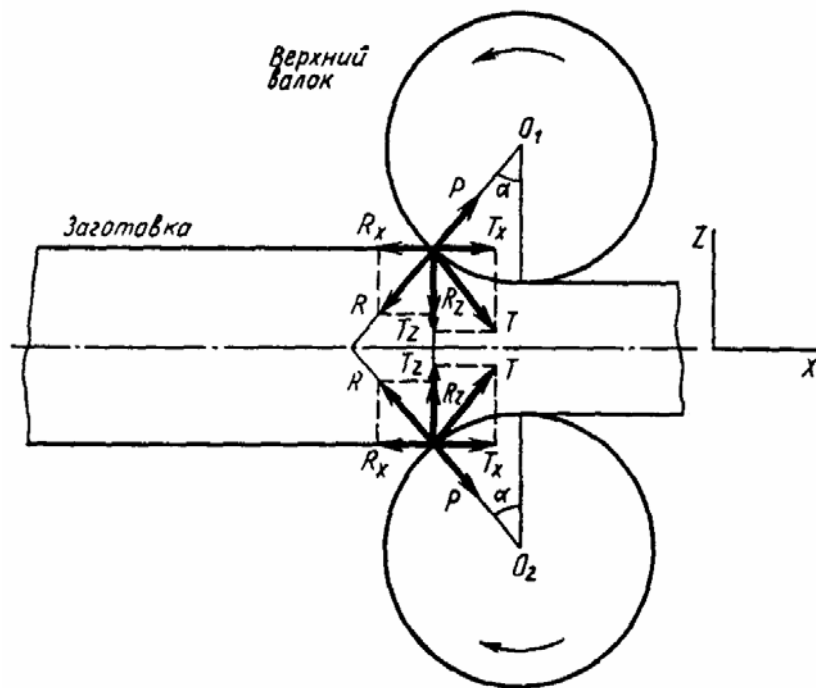


Рис. 30. Схема прокатки с указанием действующих сил

Целью прокатки является получение разнообразной продукции, различающейся профилями и размерами поперечного сечения, а также длинами балок, прутков, и составляющей так называемый сортамент проката. Сортамент стального проката включает следующие пять основных групп (рис. 31):

- *сортной прокат* простого и фасонного профиля. Простой профиль (рис. 31, а) используется для порезки на заготовки, которые идут либо на дальнейшую обработку давлением – ковку или штамповку, либо на механическую обработку для изготовления различных деталей. Фасонный профиль (рис. 31, б) главным образом используется для различных строительных конструкций, включая железнодорожные пути;

- *листовой прокат* делится на толстолистовую сталь толщиной свыше 4 мм и тонколистовую 0,2...3,75 мм;

- *трубы бесшовные* различного диаметра с разной толщиной стенок, разнообразного назначения;

- *специальный прокат* включает в себя вагонные колеса, шпунтовые сваи, автоободья и т.д.;

- *периодический прокат* (рис. 31, в) – прокат с периодически изменяющимся по длине профилем. Он используется в качестве заготовок для штамповки (например, заготовок шатунов автомобильных двигателей) или непосредственно для механической обработки.

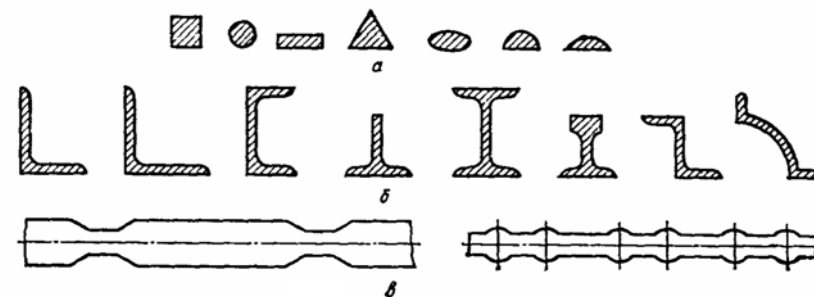


Рис. 31. Сортамент стального проката

Существуют также специально разработанные сортаменты для выпуска проката из цветных металлов и сплавов – меди, алюминия, латуни, дюраля – в виде листов, ленты, труб, прутков и других изделий. Важнейшей особенностью деформации металла при прокатке является получение волокнистой структуры металла с ориентировкой волокон вдоль направления прокатки, т.е. перпендикулярно осям вращения валков.

Это объясняется тем, что при сдавливании сечения заготовки между валками вытяжка металла в основном происходит в направлении наименьшего сопротивления, т.е. в наружную сторону. Деформации и вытяжке в поперечном направлении препятствуют трение о поверхности валков. Так как общая вытяжка металла заготовки складывается из вытяжек его отдельных зерен, то последние должны превратиться в волокна. Заготовка захватывается в рабочее пространство между валками и перемещается силами трения, возникающими между ней и валками (см. рис. 30).

Прокатка металлов осуществляется на прокатных станах. Основными рабочими элементами прокатных станов являются валки, имеющие цилиндрическую форму. Валки размещаются в основной части прокатного стана – рабочей клетки. Рабочая часть валка называется бочкой. Бочки могут быть гладкими или ручьевыми. Первые применяются для прокатки

листов и лент, а вторые – для сортового металла. Ручьи представляют собой кольцевые вырезы на поверхности вала. Совпадающие ручьи верхнего и нижнего валков образуют калибры, с помощью которых сортовому прокату постепенно придаются требуемые профили.

Прокатные станы классифицируются по ряду признаков, основным из которых является род выпускаемой продукции. В связи с этим можно выделить следующие наиболее распространенные виды станов: сортопрокатные для выпуска сортового проката; листовые и полосовые станы горячей прокатки; трубопрокатные станы; станы холодной прокатки стали и цветных металлов (тонколистовые, ленточные, фольгопрокатные и т.д.); деталепрокатные станы для выпуска специального или периодического проката.

Горячая прокатка стали. На обжимных станах с диаметром валков $D=800\ldots1500$ мм (блумингах и слябингах) обжимают слитки массой до 35 т и более. Заготовочные станы ($D=450\ldots750$ мм) предназначены для прокатки блюмсов на заготовки сечением $40\times40\ldots150\times150$ мм. На рельсобалочных станах ($D=750\ldots950$ мм) осуществляют горячую прокатку рельсов, балок, крупных уголков и других тяжелых профилей.

На крупносортовых станах ($D=500\ldots800$ мм) прокатывают круглые и квадратные профили, балки и швеллеры.

Среднесортные профили – квадрат и круг, балки и швеллеры – прокатывают на непрерывных и линейных станах ($D=300\ldots500$ мм), состоящих из нескольких клетей дуо.

Мелкосортный профиль – круг, квадрат, катанка, уголок – производят на полунепрерывных и непрерывных станах ($D=250\ldots300$ мм). На непрерывных станах скорость прокатки достигает 40 м/с и более.

Для горячей прокатки листов из стали в основном используются непрерывные или полунепрерывные толстолистовые и листовые широкополосные станы, а также широкополосные станы с моталками в печах. Применяются одно-, двух- и многоклетевые дуо-, трио-, квартостаны, а также универсальные станы.

Холодная прокатка стали. На непрерывных квартостанах и на реверсивных одноклетевых станах прокатывают листы и ленту для автомобильной и электротехнической промышленности, кровельное железо и другие виды продукции: тонкий (толщиной менее 0,5 мм) и очень тонкие (толщиной менее 0,1 мм) полосы и ленты изготавливают на многовалковых станах. Жесть катают, как правило, в пятиклетевых непрерывных квар-

тостанах. Полученную черную жесть с целью защиты от коррозии подвергают цинкованию, лужению, плакированию (покрытию пластмассами) и другим видам обработки.

Производство специальных видов проката. Все большее распространение в промышленности получают гнутые профили, применение которых вместо сварных конструкций в строительстве позволяет экономить до 30% металла. Гнутые профили изготавливают непрерывным способом на многоклетевых роliko-гибочных станах из стального листа, уголков, швеллеров и другого проката. Сложная форма гнутых профилей не позволяет получать их обычными методами прокатки.

Периодический прокат – полосы переменного сечения по длине, заготовки для штамповки деталей с местным утолщением, лопатки, трубы, оси вагонов, шары и др. – получают на станах поперечной прокатки. Его применение дает экономию до 30% металла по сравнению с производством вышеуказанных изделий из обычного проката.

Прокатка цветных металлов и сплавов. Слитки прямоугольной формы используют для получения полосового и листового проката (из круглых слитков производят проволоку, прутки, трубы). Перед прокаткой поверхностные дефекты слитков удаляют строганием или фрезерованием.

Алюминиевые, медные и никелевые сплавы хорошо прокатываются в холодном и горячем состояниях. Слитки прокатываются в горячем состоянии на прутки или листы. Горячекатаные листы подвергают холодной прокатке, которую ведут с промежуточными отжигами.

Холодная прокатка ленты из алюминиевых сплавов АМц, Д1, Д16 производится из горячекатаных листов около 6 мм. Ленту толщиной до 0,5...0,6 мм катают без промежуточного умягчающего отжига. Заготовками для холодной прокатки лент из меди и латуни Л62 служат свернутые в рулоны полосы толщиной 5...6 мм, полученные горячей прокаткой из слитков. Отожженные и протравленные рулоны прокатываются на специальных станах до толщины 0,01...0,2 мм в течение четырех-пяти операций холодной прокатки, чередующихся умягчающими отжигами и травлением для удаления окалины.

Тонкие листы и ленту из меди или латуни получают холодной прокаткой из горячекатаных заготовок толщиной 10...15 мм с предварительно удаленными фрезерованием поверхностными дефектами. Прокатку ведут до требуемой толщины в несколько обжатий, применяя промежуточные отжиги при 450...800°C для восстановления пластичности металла.

Для холодной прокатки предпочтительнее однофазные латуни с содержанием цинка менее 30% – как обладающие большим запасом пластичности. Для предотвращения налипания меди и латуни на стальные валки применяют жидкую смазку (трансформаторное масло, керосин, веретенное масло и т.д.).

Прокатка титана, циркония, молибдена в горячем состоянии возможна только в среде инертного газа, в вакууме или в стальной оболочке. Горячекатаные заготовки подвергаются холодной прокатке с промежуточными отжигами в вакууме.

Кроме лент, листового и полосового проката из цветных металлов и сплавов прокатывают трубы и сортовой прокат – прутки круглого, квадратного сечения, катанку, уголки, тавровые и двутавровые балки. Прокатка ведется на дуо-, трио- и квартостанах.

Прокатка с применением ультразвука основана на подведении ультразвука к бочкам валков или к прокатываемой заготовке, что повышает ресурсы пластичности металлов и уменьшает энергетические затраты.

В настоящее время освоена бесслитковая прокатка алюминия, меди и их сплавов. Жидкий металл заливают в ручьи на водоохлаждаемом шкиве. В результате кристаллизации на противоположном конце шкива получается полоса трехгранного или прямоугольного сечения, которая затем поступает в многоклетевый непрерывный прокатный стан. Этот способ имеет ряд преимуществ перед другими: малые потери металла, высокая производительность, упрощение процесса производства проката.

Волочение – процесс обработки металла давлением (ОМД), при котором материал протягивается через отверстие инструмента – волоку (фильеру), площадь выходного сечения которой меньше площади сечения заготовки. В результате поперечные размеры изделий уменьшаются, а длина увеличивается. Волочение производят через одну или несколько волок при обжати за один проход на 16...30%. Суммарное обжатие заготовки может достигать 40...85%.

Волочилые станы состоят из волоки и тянущих устройств, последние могут иметь прямолинейное (цепные, реечные, винтовые, канатные, гидравлические) и круговое движение (барабанные). На станах с прямолинейным движением тянущих устройств изготавливают прутки, профили, трубы; на барабанных станах – проволоку и трубы малого диаметра.

Прямолинейные станы могут быть одно- и многопоточные (до 5 изделий одновременно). На барабанных станах осуществляется процесс как

однократного, так и многократного волочения. Станы для многократного волочения имеют от 6 до 20-30 волок и предназначены для получения тонких и ультратонких (до 8...15 мкм) профилей.

Профиль продукции обеспечивается формой волоки, изготавливаемой из инструментальных сталей У8-У12, Х12М, твердых сплавов ВК2, ВК3, а для получения тонкой проволоки (менее 0,3 мм) – из алмаза. Изделия имеют высокую точность размеров (например, при волочении ультратонкой проволоки допуск составляет $\pm 0,001$ мм).

Волочение осуществляется в холодном и горячем состояниях с обильным применением смазки. Изделия из алюминия, меди, никеля и их сплавов, стали волочат при комнатной температуре с промежуточными отжигами для снятия наклепа. Хрупкие металлы (молибден, вольфрам и др.) обрабатывают в горячем состоянии в защитной атмосфере или вакууме.

В последние годы промышленное применение нашло волочение (например, тонкостенных труб из сталей и цветных металлов) с применением ультразвука. При этом на 25...35% снижается усилие волочения, улучшается качество поверхности изделий.

Прессование – технологический процесс обработки давлением, заключающийся в выдавливании металла пуансоном из закрытого контейнера через отверстие в матрице. Профиль изделия определяется профилем отверстия в матрице. Обычно прессованием изготавливают прутки диаметром 5...300 мм, трубы с внутренним диаметром 18...700 мм и толщиной стенки 1,25...50 мм. Этим способом получают изделия сложной формы, которые нельзя изготовить никакими другими методами ОМД. Продукция отличается высокой точностью размеров. Мягкая схема напряженного состояния (O_4) позволяет деформировать на 85...90% даже самые малопластичные и трудноформируемые металлы и сплавы. При прессовании пластичных металлов может быть достигнут эффект сверхпластичности (при прессовании чистого алюминия вытяжка может достигать 1000%). Прессованием получают изделия из алюминия, титана, магния, цинка и их сплавов, углеродистых и легированных сталей. Успешно осваивается прессование тугоплавких металлов в вакууме или в среде инертных газов.

При прессовании труб к торцу пресс-шайбы крепится стальная игла. Металл выдавливается в кольцевой зазор между отверстием матрицы и иглой. Матрицы изготавливают из легированных сталей (3Х2В8, 38ХМЮА и др.) и твердых сплавов.

Прессование ведут на гидравлических прессах, развивающих усилие 15000...300000 МН.

Среди высокопроизводительных методов прессования следует отметить гидропрессование (гидроэкструзия) жидкостью высокого давления (до 3000 МПа) и прессование с использованием энергии взрыва. В первом случае жидкостное трение на контакте заготовка-матрица устраняет серьезный недостаток обычного прессования – трение металла о стенки контейнера и матрицы. В результате скорость выдавливания возрастает, изделия получают равномерные свойства по длине, практически полированную поверхность. Повышается износостойкость инструмента, а усилие уменьшается на 30...40%, уменьшается неоднородность деформации, что позволяет обрабатывать хрупкие материалы (сплавы вольфрама, бериллия, ниобия и др.). Гидропрессование проводят при комнатной температуре. При повышенных температурах жидкость заменяют газом высокого давления.

Ковкой называется один из способов ОМД, при котором инструмент оказывает многократное прерывистое воздействие на нагретую заготовку, в результате чего она, деформируясь, приобретает заданную форму и размеры. Различают ковку в штампах (штамповка) и без применения штампов (так называемую свободную ковку). При свободной ковке перемещение деформированного металла не встречает сопротивления своему движению со стороны инструмента. Исходным материалом дляковки деталей служат слитки и различный прокат.

Ковка подразделяется на ручную и машинную. Ручную ковку осуществляют молотом на наковальне и применяют для индивидуального изготовления мелких изделий или при ремонтных работах. Механическую ковку производят на ковочных молотах и прессах.

Молоты используют для изготовления изделий средних размеров, прессы – для изготовления крупных изделий. Все типы молотов и прессов имеют подвижные (баба и верхний боек) и неподвижные (шабот и нижний боек) части.

При всех операциях свободнойковки обработка ведется последовательными ударами молотов, но высокоскоростные молоты рассчитаны на одноударное действие. Наибольшее распространение получили паровоздушные, пневматические, механические молоты и гидравлические прессы.

При свободной ковке используют разнообразный кузнечный инструмент. Технологические процессы свободнойковки представляют собой различное сочетание основных операций: осадка, высадка, протяжка, обкатка, раскатка, прошивка и т.д.

Штамповка представляет собой процесс ОМД, формообразование изделий при котором происходит в штампах, т.е. обеспечивается принудительное получение изделием формы и размеров. Метод экономичен и широко применяется в различных отраслях промышленности. Штамповку осуществляют на прессах и молотах, которые отличаются от ковочных конструкций большей жесткостью, большей точностью направляющих подвижных частей и др.

Горячая объемная штамповка применяется в основном для массового и серийного производства поковок и позволяет получать изделия с высокой точностью формы и размеров. Технологический процесс этого вида штамповки состоит из следующих операций: разрезка металла на заготовки, нагрев заготовок, штамповка, термообработка, отделка поковок. Метод дает возможность обрабатывать трудноформируемые сплавы (реализуется мягкая схема напряженного состояния).

Холодную объемную штамповку применяют для поковок небольшого размера. При холодной штамповке уменьшаются отходы металла, улучшается качество поверхности, обеспечивается высокая точность изделий при высокой производительности труда.

Листовой штамповкой изготавливают плоские или пространственные тонкостенные изделия из стали, цветных металлов и сплавов. При холодной штамповке используют листовые заготовки толщиной от сотых долей миллиметра до 4 мм, при горячей – толщиной более 4 мм. Продукция листовой штамповки отличается высокой точностью и не нуждается в последующей обработке на металлорежущих станках. Сортамент изделий весьма разнообразен – от деталей часов до днищ паровых котлов и резервуаров, от посуды до станин прессов, станков, деталей корпусов морских судов и т.д. Этим методом получают более 70% деталей легковых автомобилей. Операции листовой штамповки бывают разделительные (отрезка, вырубка, пробивка и др.) и формоизменяющие (гибка, вытяжка, формовка, отбортовка и др.).

В последние годы для упрощения и удешевления оснастки разработаны и применяются способы обработки с использованием в качестве штампов эластичных материалов (например, резины).

Для изготовления мелкосерийных крупногабаритных деталей из толстолистовых заготовок применяют штамповку взрывом с использованием тротила, аммонала и других взрывчатых веществ. При взрыве развиваются кратковременные высокие давления, под действием которых заготовка принимает форму штампа. Этот метод гораздо экономичнее, чем обычная листовая штамповка деталей, и позволяет обрабатывать металлы и сплавы, имеющие относительное удлинение 10...14%. Штамповкой взрывом получают детали из нержавеющей и высокопрочных сталей, титановых и медных сплавов и др.

10.3. Обработка полимерных материалов

Для обработки полимерных материалов используют все рассмотренные в 10.1 способы.

Основные методы и режимы переработки термопластов представлены в табл. 48.

Таблица 48

Основные методы и режимы переработки некоторых термопластов

Полимер	Прессование		Литье под давлением		Экструзия
	Давление, МПа	Температура, °С	Давление, МПа	Температура, °С	Температура, °С
ПЭВД	5...20	120...140	50...100	100...140	140...170
ПЭНД	5...10	160...180	90...110	200...220	160...220
Пропилен	7...12	170...180	60...140	180...240	180...240
Полистирол	35...40	135...150	40...60	200...220	160...240
Поликарбонат	—	—	80...120	170...280	240...280
Полиформальдегид	—	—	80...120	180...220	200...240
Полиакрилаты	25...30	170...190	80...150	200...230	250...270
Полиамиды	—	—	80...100	220...260	250...270
Фторопласт-3	30...50	220...260	150...300	260...280	280...310
Фторопласт-4	250...400	360...390	—	—	—

Детали сложной формы из листовых термопластичных материалов могут изготавливаться методами штамповки, пневмо- и вакуумформования.

При формировании изделий жестким пуансоном в штампе вырезают заготовку определенного размера, разогревают ее до пластического состояния, укладывают в матрицу и деформируют пуансоном. Изделие выдерживается в штампе под давлением и охлаждается до потери пластичности (рис. 32, б).

Формование деталей с большей степенью вытяжки производят жестким пуансоном с протяжным кольцом (рис. 32, а).

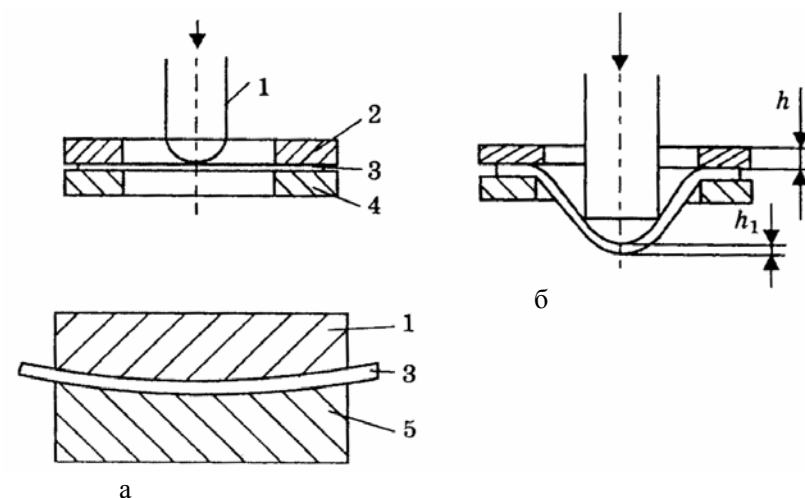


Рис. 32. Схема формирования изделий из листовых материалов жестким пуансоном

Разогретую заготовку располагают на протяжном кольце, для исключения образования гофров прижимают прижимным кольцом и деформируют пуансоном. Этим методом изготавливают детали из таких материалов, как полиметилметакрилат (оргстекло), винипласт и др.

Для получения изделий сравнительно большого размера из термопластов используют методы пневмо- и вакуумформования. Различают негативный, позитивный, свободный и комбинированные методы пневмоформования.

При негативном формовании разогретый до пластичного состояния лист располагается между двумя половинами герметичной формы, нижняя половина которой имеет рельеф, соответствующий форме детали. Под воздействием давления, создаваемого в верхней половине формы, лист

прогибается, плотно огибая нижнюю часть формы, приобретая соответствующий рельеф (рис. 33, а).

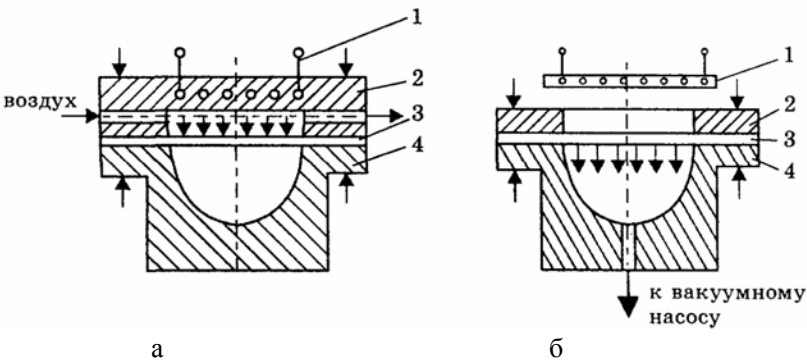


Рис. 33. Схема пневмо- (а) и вакуумформования (б):
1 – нагревательный элемент; 2 – верхняя полуформа;
3 – материал; 4 – нижняя полуформа

При позитивном формовании в формовочную камеру устанавливается выпуклый оформляющий пуансон, форма и рельеф которого воспроизводят внутреннюю поверхность изделия. Формование на выпукло-вогнутых пуансонах называется негативно-позитивным.

Для получения изделий с высокими оптическими свойствами применяют бесконтактный метод свободного формования. Предварительно нагретая заготовка укрепляется над рамой с соответствующей формой отверстия. Под давлением происходит вытяжка заготовки до нужных геометрических размеров без механического контакта с формирующими инструментами.

Для создания оптимальных условий формообразования необходим подогрев оформляющего инструмента (табл. 49).

Таблица 49

Температурные режимы пневмоформования термопластов		
Полимер	Температура заготовки, °С	Температура оформляющего инструмента, °С
Полиэтилен:		

высокой плотности	120...135	65...90
низкой плотности	90...135	50...80
Полипропилен	150...200	–
Полистирол ударопрочный	110...150	50...70
Полиметилметакрилат	120...200	40...70
Поливинилхлорид	100...160	35...45
Полиформальдегид	185...200	65...75
Полиэтилэнтерефталат	150...180	–
Полиамид	210...220	–
Поликарбонат	225...245	75...95

При вакуумформовании вместо давления в верхней части формы, как это делалось в предыдущем случае, создается разрежение в нижней части формы. В результате этого лист плотно облегает ее (рис. 33, б). Возможно применение нагрева листа непосредственно в форме.

Штамповка-вырубка тонкостенных изделий производится в специальных штампах, пуансоны которых выполнены в виде контурного ножа. Во избежание растрескивания деталей процесс ведут при температуре, которая выше температуры стеклования перерабатываемого материала.

Штамповка-вырубка деталей из реактопластов производится в кривошипных прессах. В вырубных штампах необходимо обеспечить зазор между пуансоном и матрицей не более 0,01...0,05 мм. Технологические режимы штамповки приведены в табл. 50.

Таблица 50

Технологические режимы штамповки
деталей из слоистых пластиков

Пластик	Температура подогрева, °С	Усилие прижима, МПа		Усилие штамповки, МПа	
		t до 2 мм	t > 2 мм	t до 3 мм	t > 3 мм
Гетинакс	100...125	0,15...0,3	0,25...0,6	1,2...1,8	1...1,2
Текстолит	80...90	0,15...0,25	0,25...0,6	1,1...1,5	0,9...1,1
Стеклотекстолит	70...90	0,25...0,35	0,35...0,6	1,2...1,6	1,2...1,6

При изготовлении деталей методом штамповки необходимо исключать прямые, тупые и острые углы по контуру, закругляя их. Минимальное значение радиуса закругления R при угле сопряжения до 90° выбирают из условия $R \geq 0,5t$, где t – толщина материала, а при больших углах – $R \geq$

0,25t. Минимальный размер круглого отверстия $d \geq 0,4t$, квадратного $a \geq 0,45t$. Расстояния от края детали до отверстия и между ними должны быть не менее $(0,8...1,5)t$.

Предельная толщина материала при изготовлении деталей из гетинакса 3,0 мм, из текстолита 6,5 мм. Без предварительного подогрева можно штамповать детали из листов толщиной до 1,5...2,0 мм. Предварительный подогрев производят в термошкафах или на подогреваемых столах, расположенных возле вырубных прессов, из расчета 5...8 мин на 1 мм толщины листа.

При изготовлении деталей из композиций холодного отверждения применяют следующие способы: свободная заливка, отливка с подпрессовкой, контактное формование, напыление, намотка на вращающуюся оправку.

Отливка с подпрессовкой применяется для изготовления деталей из высоковязких композиций. После заполнения форма закрывается и производится уплотнение массы при давлении 0,5...0,7 МПа. Форма остается в сжатом состоянии до полного отверждения пластмассы.

Контактное формование применяется для изготовления крупногабаритных изделий – таких, как корпусные детали, кузовные детали автомобилей, футеровка емкостей и др. На модель или форму наносят разделительный слой для легкого съема изделия. Затем наносят слой связующего и стеклоткань, пропитанную этим связующим. Производится прикатка резиновым валиком, смоченным пластификатором, например дибутилфталатом, для удаления пузырьков воздуха и уплотнения материала. После подсушки в течение 2...4 ч наносят следующий слой связующего и стеклоткани – и так до получения необходимой толщины изделия.

Принципиальная схема получения изделий методом напыления приведена на рис. 34.

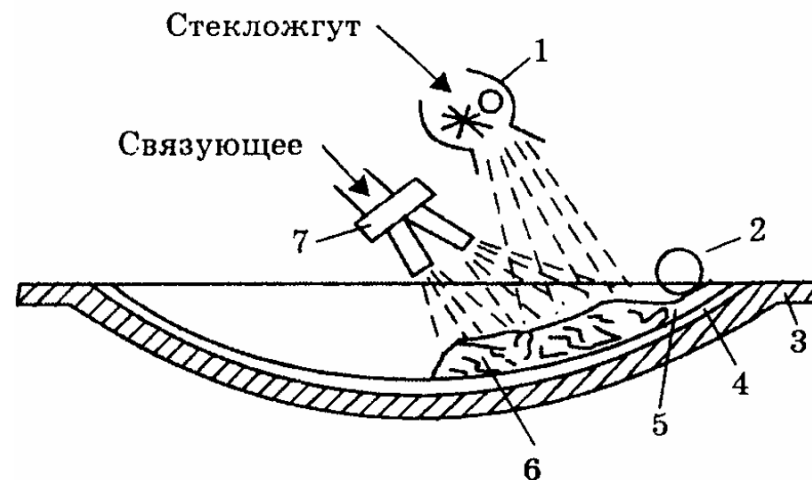


Рис. 34. Схема получения изделий

из стеклопластиков методом напыления:

- 1 – режущее устройство; 2 – прикатной валик; 3 – форма (изделие);
- 4 – разделительный слой; 5 – уплотняемый материал;
- 6 – напыленный слой композита; 7 – форсунка для распыления связующего

Суть метода заключается в нанесении на поверхность формы рубленого волокна и связующего. В качестве связующего чаще всего используют полиэфирные смолы. Процесс осуществляется с помощью специального пистолета, имеющего три сопла: два для подачи связующего и одно для подачи рубленого стекловолокна. Дискретное волокно получают в специальном устройстве, расположенном перед соплом, куда поступает стекложгут. Через крайние сопла на поверхность направляется смола, а через среднее (с помощью воздушного потока) – рубленое стекловолокно длиной 10...100 мм. Кусочки стекловолокна, попадая в поток смолы, смачиваются ею и направляются на поверхность модели, образуя слой необходимой толщины. Как и при предыдущем способе, производится уплотнение слоя резиновым валиком, смоченным дибутилфталатом.

Метод напыления более производителен по сравнению с методом контактного формования, однако он имеет и свои недостатки: затруднено изготовление изделий сложной конфигурации, значительны потери стекловолокна (до 5%), требуется повышенное внимание к условиям труда ра-

бочего персонала, так как в окружающую атмосферу выбрасывается большое количество стеклопыли со связующим.

В зависимости от формы, конструкции изделия и природы полимерной основы применяют один из следующих способов формования: штамповка, формование в ограничительных формах, масштабное формование, «самоформование» в матрицах.

Штамповка применяется для формования деталей из уже вспененных листовых термопластичных материалов в жестких штампах или путем пневмоформования в матрицу. При формовании изделий необходимо применять нагрев для облегчения диффузии газов из материала сквозь тонкие смоляные стенки. Снижение внутреннего давления газов в материале облегчает процесс деформирования материала под действием внешнего усилия.

Формование в ограничительных формах осуществляется без приложения к формируемому материалу внешних усилий. Суть процесса заключается в заполнении формы под действием внутреннего давления газов, вспенивающего материал. Для получения пенопластовых изделий используют как термореактивные, так и термопластичные материалы в сочетании с газообразователями в виде порошкообразных или жидких составов. Смесь всех ингредиентов загружают в форму, полость которой соответствует внешним очертаниям изделия; закрывают и подвергают нагреву. Под действием теплоты полимер переходит в вязкотекучее состояние, а выделяющиеся при разложении газообразователя газы вспенивают смолу, увеличивая ее объем до полного заполнения формы. При дальнейшем термическом воздействии происходит отверждение смолы с сохранением ячеистой структуры и приобретенной формы изделия. Технологически удобнее использование гранулированных композиций. Эта технология позволяет заполнять ячеистым материалом различные полые конструкции.

10.4. Обработка резиновых материалов

При изготовлении резиновых деталей выполняют следующие операции: подготовку ингредиентов, дозирование, смешение, приготовление полуфабриката (придание резиновой смеси формы, удобной для дальнейшей переработки), формование и вулканизацию.

При подготовке ингредиентов каучуки нарезают на куски и подвергают декристаллизации и пластификации. Декристаллизация проводится в

камерах с паровым обогревом или в установках токами высокой частоты, а пластикация – на вальцах или в резиносмесителях в зависимости от типа каучука. Порошкообразные наполнители подвергаются сушке, просеиванию и дозированию.

Смешение подготовленной в соответствии с рецептом массы осуществляется в резиносмесителях и на вальцах. При смешении в закрытых смесителях происходит разогрев смеси до $90...110^{\circ}\text{C}$, что при введении серы может вызвать частичную вулканизацию резиновой смеси. Поэтому серу вводят в смесь только при последующем вальцевании резины и ее листовании.

Для получения листов сырой резины определенной толщины резиновая смесь пропускается между нагретыми валками каландров (рис. 35).

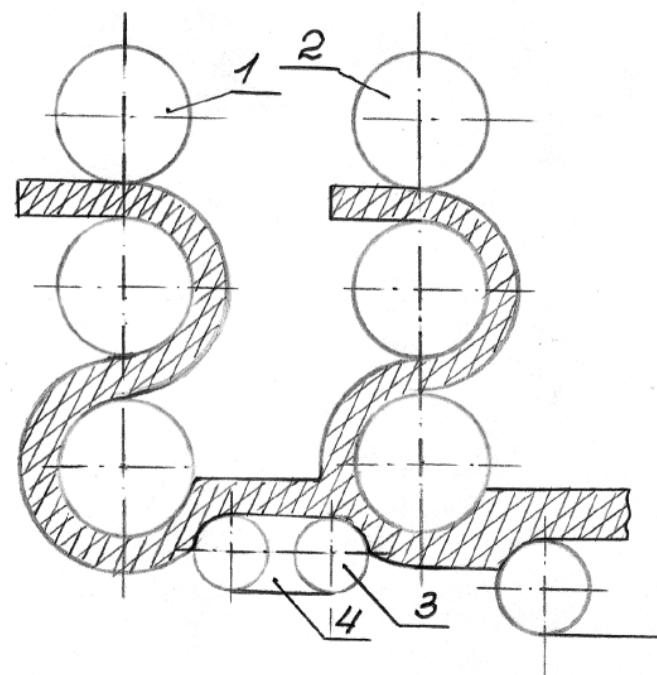


Рис. 35. Схема дублировочных каландров:
1, 2 – каландры; 3 – барабан; 4 – транспортер

Обычно используется трехвалковая система. Верхний валок нагрет до $95...65^{\circ}$, средний – на 30° ниже, нижний охлаждают до 15°C . Смесь проходит между верхним и средним валками, нагревается и калибруется в

зазоре между средним и нижним валками. Обычно получают листы сырой резины толщиной 0,3...1,0 мм, которые сматываются в рулоны с промежуточной тканевой прослойкой во избежание слипания слоев. Из сырой резины в дальнейшем формируются различные резинотехнические изделия, которые затем вулканизируются при температуре 140...145°C. На участке каландрирования выполняют также пропитку и промазку тканевых наполнителей. Пропитка осуществляется в случае необходимости нанесения тонкой резиновой пленки на ткани. Пропитку производят растворами резиновых смесей в органическом растворителе в кассето-пропиточных машинах. После испарения растворителя в сушильных камерах осуществляют операцию вулканизации.

Прорезинивание тканей методом промазывания осуществляется на двух- и трехвалковых промазочных каландрах, на которые подаются предварительно подогретая резиновая смесь в виде тонкого листа и ткань, провальцовываемые совместно.

При необходимости соединения двух и более каландрированных листов резины или слоев прорезиненной ткани в одну пластину большей толщины либо их соединения в различных сочетаниях производят дублирование на специальных каландрах (рис. 35).

Заключительной операцией изготовления резиновых изделий является вулканизация. Она может производиться в прессах, в автоклавах – прессах, на непрерывных вулканизаторах. Все формовые изделия вулканизируются на этажных прессах с паровым и электрическим подогревом плит.

Армированные формовые изделия массой более 1 кг обычно изготавливают на литьевых прессах с последующей вулканизацией в формах на прессах или в автоклавах. При литье под давлением процесс вулканизации происходит непосредственно в форме. При производстве длинномерных изделий применяется непрерывная вулканизация в различных теплоносителях без давления (зачастую с применением газообразных носителей для снижения процесса окисления). На механические свойства резины влияет также термоокислительная деструкция (разрыв молекул под действием высокой температуры и кислорода), возникающая в процессе вулканизации (перевулканизация). Поэтому время вулканизации и температура тщательно подбираются опытным путем. К формовым изделиям относятся различные резиновые и резино-металлические сальники, диафрагмы, сайлент-блоки, амортизаторы и др.

Для обеспечения полноты заполнения формы при прессовании предусматривают объем заготовки резиновой смеси на 1,5...2% больше, с целью учета компенсации усадки резиновой смеси в процессе вулканизации.

Литье резиновых изделий под давлением производится на плунжерных литьевых прессах с последующей вулканизацией в прессах или автоклавах, а также на машинах для литья и вулканизации с предварительной шнековой пластификацией. В плунжерных прессах разогретую резиновую смесь загружают в рабочий цилиндр, откуда под действием штока она вытесняется через литьевое сопло в литьевую форму. В литьевых машинах применяют питатели трех типов: шнековый, плунжерный и шнек-плунжерный. Изготовление неформовых изделий (уплотнителей стекол, дверей, крышек и др.) производят методом шприцевания в шприц-машинах. По принципу работы шприц-машина подобна экструдеру и снабжена литьевым отверстием соответствующего профиля. Подаваемые в шприц-машину резиновые смеси предварительно подогреваются до температуры 40...50°C. Шприцуемые на выходе из головки профили опудриваются тальком или покрываются эмульсией, обрезаются по длине и укладываются в лотки. Вулканизация неформовых резиновых изделий осуществляется либо непрерывным способом в среде горячего воздуха (газа) в вулканизаторах тоннельного типа, либо в вулканизационных котлах в течение 25 мин.

При изготовлении резино-металлических изделий применяют как горячее, так и холодное крепление резины к металлу. Так, при изготовлении резиновых рукавов для подачи жидкостей и газов, работающих под высоким давлением, на резиновую камеру накладывается силовой каркас из нескольких слоев миткалевой ткани и металлической оплетки, затем на специальном дорне одевается верхняя резиновая рубашка и производится вулканизация в вулканизационных котлах.

При изготовлении таких резино-металлических изделий, как амортизаторы, шарниры и другие, горячее крепление резины к металлу осуществляется при вулканизации с применением промежуточного подслоя (эбонитового или латунного). Подслой наносится на предварительно очищенную и обезжиренную металлическую поверхность (эбонитовый подслой – с применением клея, латунный подслой – методом электролиза).

Холодное крепление вулканизированной резины к металлу осуществляется с помощью клея (например, клей 88Н). При креплении также воз-

можно предварительное приклеивание сырой резины, помещенной в форму, к металлической поверхности и последующая вулканизация.

10.5. Обработка неорганических материалов

При изготовлении керамических изделий выполняют следующие операции: подготовка формовочной массы, формование изделия, сушка и отжиг. Различают сухую и влажную подготовку массы. Смешивание компонентов производится в шаровых и вибрационных мельницах или лопастных мешалках. При влажном процессе смешивания в смеситель вводится жидкая среда – вода или спирт. Брикетирование смесей производится с целью увеличения плотности механического контакта между химически разнородными материалами. Твердофазное взаимодействие компонентов осуществляется в процессе обжига при высокой температуре более 700°C. Продукт обжига подвергается повторному помолу с получением размера частиц порошка до 10 мкм (при мокром помолу до 1...0,1 мкм).

С целью повышения пластичности формовочной массы в полученную порошковую смесь добавляют 1...10% пластификатора.

Формование изделий производится (в основном горячим) прессованием в металлических пресс-формах под давлением 100...600 МПа, чем обеспечивается надежное спекание частиц. Плотность прессованного изделия по объему может быть неодинаковой. Поэтому для уменьшения разброса по плотности применяют двустороннее и изостатическое прессование и снижают высоту прессованных изделий по сравнению с поперечным сечением. Двустороннее прессование осуществляется двумя пуансонами, движущимися навстречу друг другу. Изостатическое прессование осуществляется в специальных контейнерах с жидкой или газообразной средой (или в эластичных оболочках), где осуществляется объемное сжатие материала.

После объемного сжатия требуется дополнительная механическая обработка полуфабриката.

Спекание частиц может осуществляться и после прессования, температурный режим которого определяется составом исходных компонентов. Если в составе керамики содержатся компоненты, способные к окислению, то спекание ведется в нейтральной газовой среде. В этом случае требования к стойкости пресс-форм снижают.

Процесс изготовления керметов аналогичен процессу изготовления керамических материалов. Прессование и спекание металлических и керамических порошков осуществляется также в металлических пресс-формах.

При производстве металлополимерных каркасных материалов после прессования и спекания металлических и керамических порошков (получается пористый каркас) осуществляют пропитку полученного каркаса полимерной композицией с последующей полимеризацией или отверждением. Так, технологический процесс производства металлокерамического антифрикционного материала МПК заключается в следующем: из порошков нержавеющей стали прессуют и спекают каркас с пористостью 20...70%, затем в специальной камере через поры пропускают углеродосодержащий газ при температуре, обеспечивающей пиролиз газа и осаждение графита на стенки каркаса до заполнения 3/4 объема пор, после чего осуществляют многократную вакуумную пропитку изделия суспензией фторопласта-4 с одновременной термообработкой.

Сырьем для получения стекла служат кварцевый песок, борная кислота, бура, мел, известняк, мрамор, доломит, сода, сернистый натрий и поташ, из которых получают основные стеклообразующие материалы – окислы SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , способные самостоятельно образовывать стекло, и окислы щелочноземельных металлов, образующих стекло только с перечисленными выше соединениями. Среди вспомогательных материалов различают осветлители, окислители, красители, восстановители, глушители.

Осветлители вводят в расплав для удаления газовых включений, образующихся при варке стекольной массы (триокись мышьяка, натриевая селитра и др.). Окислители служат для обесцвечивания стекла (натриевая селитра, пиролюзит).

Красители используются для получения цветного стекла. Роль красителей выполняют соединения, чаще окислы селена, хрома, кадмия и других металлов, а также золото.

Восстановители добавляют для восстановления окислов, применяющихся в качестве красителей. Восстановителями служат древесный уголь, древесные опилки, кокс, металлический магний, алюминий, олово и др.

Глушители используются для получения непрозрачного кристаллического стекла с высокодисперсной структурой – опалового или молочного. Для этого в состав стекол вводят криолит, плавиковый шпат, кремнефто-

ристый натрий, фосфат кальция, окислы цинка, циркония, титана, олова и другие вещества.

При производстве стекломассы сначала осуществляют подготовку сырых стеклообразующих материалов: их сушат, просеивают, измельчают, тщательно смешивают. Чем однороднее шихта, тем лучше качество стекла. В стекловаренных печах используют также и стекольный бой (возврат).

Варка стекломассы производится в ваннных или горшковых печах. Наибольшее распространение получили ваннные отражательной печи непрерывного и периодического действия типа мартеновских для выплавки стали. Печи работают на газообразном и жидком топливе. Производительность крупной стекловаренной печи составляет 200 т стекломассы в сутки. Полученную стекломассу перерабатывают в изделия различными способами: выдуванием, вытягиванием, прессованием или прокаткой. Все эти операции проводят с горячей стекломассой, подстуженной до температуры 1200°C для получения требуемой вязкости.

В настоящее время выдувание осуществляется при помощи сжатого воздуха на фидерных машинах и за счет разрежения на вакуумных машинах с использованием полых форм. Вытягиванием изготавливают оконное стекло, а также трубки и палочки на специальных автоматических машинах (например, как на показанной на рис. 36).

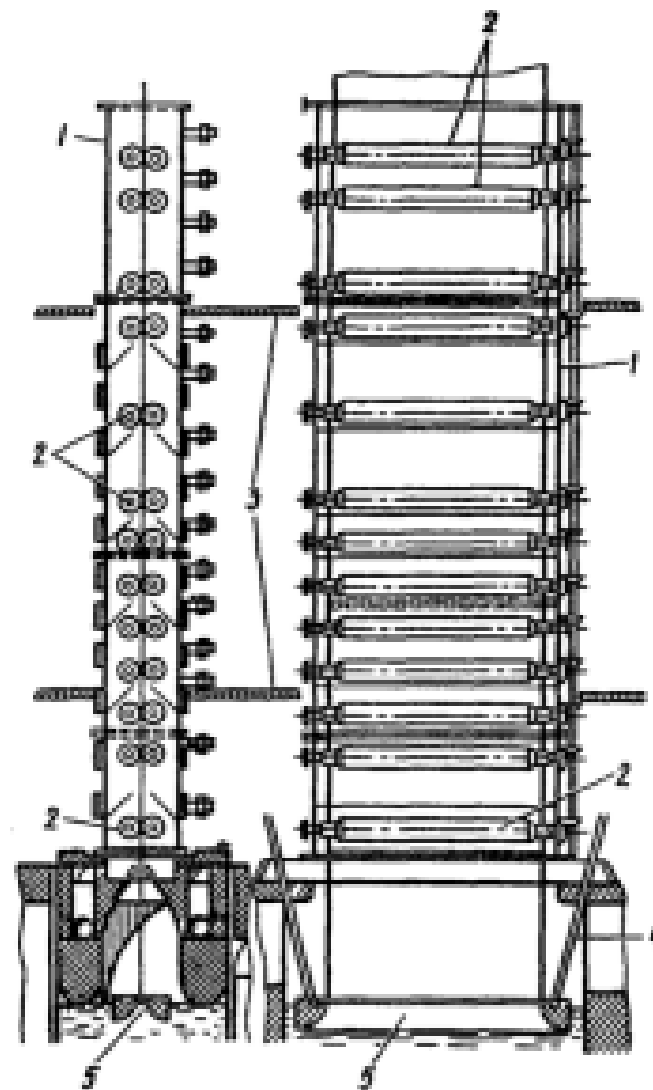


Рис. 36. Машина для выработки оконного стекла:

1 – шахта; 2 – ролики для вытягивания стекла; 3 – площадки для обслуживания машины; 4 – нажимные штанги; 5 – лодочка

Шамотная лодочка 5 погружается в стекломассу, которая выдавливается через щель лодочки. Затем стекломасса схватывается затравкой. По-

следняя при помощи тянущих роликов 2 протягивается вверх, формируя листовое стекло, разрезаемое затем на нужную длину.

Для изготовления хозяйственной посуды и строительных стеклоблоков используют прессование стекломассы.

Прокат применяют лишь при производстве листового стекла значительной толщины, армированного и узорного стекла. В этом случае стекло обрабатывают между полыми валами.

Во избежание остаточных напряжений, которые охрупчивают стекло, стеклянные изделия подвергают отжигу (нагреванию до температуры 500...600°C и медленному охлаждению).

Для получения высокой прочности стекло закаляют: нагревают до температуры, превышающей на 15...20°C температуру отжига, и быстро охлаждают путем обдувания сжатым воздухом.

Кроме термической изделия из стекла подвергают химической и механической обработке. Первая состоит в нанесении на поверхность изделий матовых рисунков с помощью плавиковой, серной и других активных кислот, растворяющих стекло; вторая – в гранении, шлифовке, полировке и нанесении рисунков на поверхность изделий с помощью абразивных материалов. В качестве последних используются кварцевый песок, корундовые порошки, окислы железа, хрома и редкоземельных элементов.

Термохимическое упрочнение заключается в закалке изделия в подогретых кремнийорганических жидкостях. Прочность закаленного таким способом стекла намного превышает прочность обычного. Это объясняется образованием полимерных пленок на поверхности материала.

Травление поверхности плавиковой кислотой способствует удалению поверхностных дефектов, что приводит к повышению термостойкости и прочности.

10.6. Обработка древесных материалов

Древесностружечные плиты (ДСтП) изготавливают путем горячего прессования древесных частиц, смешанных со связующим. Древесноволокнистые плиты (ДВП) также изготавливают путем горячего прессования древесных волокон, смешанных со связующими или без связующего. Отличие ДВП от ДСтП состоит в подготовке исходного древесного материала. Основное сырье для изготовления ДВП – древесная щепа и дробленка. После гидротермической и химической обработки щепа расслаивается на специальных машинах (дефибрерах и рафинерах) на отдельные

волокна, которые в смеси с водой и другими добавками составляют древесную массу. При формировании плит взвешенные в воде волокна «свойлачиваются», тесно переплетаясь между собой. При обезвоживании масса волокон оседает, полученное полотно спрессовывается между сетками и уплотняется прессующими валами. Для придания плитам формоустойчивости при их изготовлении применяют водоотталкивающие (гидрофобные) вещества (парафин, церезин и др.), которые, расплавляясь, закрывают поры и тем самым препятствуют проникновению влаги.

В качестве уплотняющих добавок применяют фенолформальдегидную смолу и черный технический альбумин (белковый клей из крови). ДВП могут быть непрессованные, (плита представляет собой древесноволокнистый ковер, полученный только за счет сушки) и прессованные. Сверхтвердые ДВП получают путем прессования влажного волокнистого полотна (с применением упрочняющих добавок в виде смеси высыхающих масел) между нагретыми металлическими плитами под давлением 2...2,5 МПа и при температуре 175...225°C.

Известны технологии изготовления изделий из древеснонаполненного полипропилена (ДПП) методами прессования, литья под давлением, экструзии листа с последующими операциями вакуумного формования, горячей штамповки или формования в твердом состоянии (ФТС).

При прессовании листов из полипропилена и древесной стружки применяется технология, близкая к технологии ДСтП. Древесину измельчают на рубительных машинах до щепы или получают стружку на стружечных станках с ножевым валом. Древесную щепу перерабатывают в стружку на стружечных станках. Затем стружку сушат в сушилке 1 (рис. 37) до влажности 3...6%, пневмотранспортом подают ее в бункер 2 и шнеком 3 загружают в вибросито 4. Крупные фракции стружки, прошедшие через верхнее сито, направляют в дробилку 5, а кондиционную стружку направляют в бункер 6. В бункер 7 загружают порошкообразный полипропилен, который вместе со стружкой из бункера 6 подают в смеситель 8, где стружка равномерно перемешивается с полипропиленом, и полученную древесно-полимерную смесь с помощью формующей машины 9 насыпают в виде ковра на бесконечную ленту 10 главного конвейера производства ДПП. Затем древесно-полимерный ковер предварительно подогревают в устройстве 11. Подогретый до 180°C ковер прессуют при давлении 2...6 МПа в одноэтажном гидравлическом прессе 12. Полученную плиту охлаждают в камере 13, обрезают по контуру на станке 14. Полученные обрезки воз-

вращают в дробилку 5. Кондиционные плиты принимают на подъемный стол 15 и складывают.

Из ДПП методами вакуумного формования или горячей штамповки изготавливают детали машин, и в первую очередь, автомобилей.

При горячей штамповке ДПП 1 (рис. 38) нагревают в камере 2 до пластично-вязкого состояния, на прессе 3 формуют холодным штампом, после чего в заготовке 4 просекают отверстия на прессе 5 и деталь 6 приобретает окончательные размеры. Эта технология весьма производительна. Время, затрачиваемое на изготовление одной детали, около 20 с. Экономическая эффективность изготовления может быть повышена при штамповке не остывшего после прессования или экструзии листа.

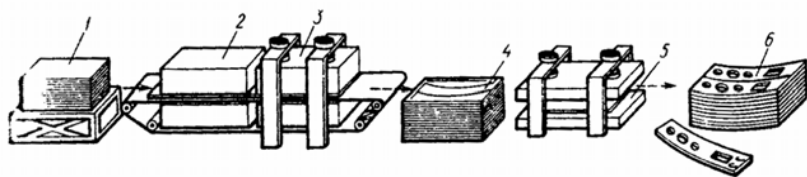


Рис. 38. Принципиальная технологическая схема производства деталей машин на ДПП

Если отдельные участки деталей должны быть упрочены, то применяют метод формования в твердом состоянии (ФТС), при котором лист в пластично-вязком состоянии при температуре на $20...35^{\circ}\text{C}$ ниже температуры плавления подвергают в течение $20...80$ с пластическим деформациям при давлении $90...300$ МПа. Правильно выбранные режимы ФТС и ориентация детали при формовании позволяют существенно повысить прочность и деформативность.

Если детали из ДПП являются декоративными, то их поверхность облицовывают пленками, тканью, ворсом и т.п. материалами. При рациональном выборе состава ДПП, вида облицовывающего материала и адгезива, соединяющего их, удастся выполнить за одну операцию формование детали и ее облицовывание.

Технология литья под давлением деталей из пропилена с древесными наполнителями заключается в том, что древесную муку смешивают с порошкообразным полипропиленом, в горячем экструдере пластицируют и гомогенизируют полученный композит, гранулируют его и перерабатывают литьем под давлением.

Для изготовления деталей мебели применяются заготовки гнуто-клееные. Для их изготовления применяют лущеный шпон, карбамидоформальдегидные смолы марок КФ-БЖ, КФ-Ж, КФ-МГ; а также ДСтП марок П-1 и П-2. Сущность процесса изготовления этих заготовок заключается в том, что сформованные пакеты предварительно изгибают, а затем прессуют и склеивают при заданном давлении и температуре в течение определенного времени. Гнуто-клееные заготовки делают в пресс-формах различных видов, в механических, пневматических и гидравлических прессах.

Заготовки из модифицированной древесины получают в виде бруско-вых и досковых заготовок путем уплотнения предварительно обработан-

ной нагревом, пропариванием или другим способом древесины с последующей обработкой для получения требуемых деталей (подшипников, зубчатых колес, ткацких челноков и др.).

Для придания декоративного вида на древесные материалы наносят пленочные покрытия, изготовленные на основе бумаг или полимеров. Режимы напрессовывания пленок зависят от материала, на который наклеивают пленку, а также от смол, которыми пропитаны бумаги. Эти пленки наклеивают за счет расплавления в них смолы, и не требуется предварительного нанесения клея на элементы. Для изготовления пленок применяют специальную бумагу: текстурную рулонную, декоративную с печатным рисунком, бумагу-основу синтетического шпона. В качестве пропиточного раствора применяют смесь мочевиноформальдегидной смолы и полиэфирной эмульсии и др. После пропитки пленки высушивают до такой степени, когда смола полностью теряет липкость, но может под воздействием теплоты и давления плавиться. Лицевая поверхность пленки покрывается лаками или эмалями. Зачастую на древесные материалы наносят несколько слоев бумажных пленок (декоративные бумажно-слоистые пластики), изготовленных путем горячего прессования (пропитка – термореактивные смолы, облицовочный слой – фенолформальдегидная смола).

Древесные материалы также покрывают пленками на основе полимеров (ДПО – без клеевого подслоя и ПДСО – с клеевым слоем). Пленки приклеивают путем прикатки катком или другим способом.

Глава 11. МЕХАНИЧЕСКАЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ, ХИМИЧЕСКАЯ И ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

11.1. Механическая обработка материалов

Пескоструйная обработка – это очистка поверхности деталей струей песка (или другого материала), направленной с большой скоростью на обрабатываемую поверхность. Зернам песка придают кинетическую энергию сжатым воздухом, пескоструйным колесом или жидкостью. Твердые и острые зерна врезаются в поверхность, очищают ее от загрязнений и окалины, снимая одновременно поверхностные частицы металла. После очистки обрабатываемая поверхность получается шероховатой, с множеством наклепов и вмятин, величина которых зависит от материала поверхности,

давления воздуха, угла обработки и расстояния сопла от поверхности. Если материал, производящий очистку, состоит из мягких зерен, то снимается лишь небольшое количество металла, наклеп бывает незначительным, а иногда получается полированная поверхность.

Пескоструйная обработка применяется для очистки отливок и поковок, а также подготовки поверхности под окраску, например, для очистки корпусов судов или крупных резервуаров.

В качестве материала для очистки применяют кварцевый песок, чугунную дробь, различные абразивы (например, искусственный корунд).

Зерна кварцевого песка должны иметь соответствующую форму и зернистость (0,5...1,5 мм – для тонкостенных деталей; 2...5 мм – для матирования). Кварцевый песок применяют для пневматической обдувки при давлении около 3 атм. Кварцевый песок при работе сильно крошится, его зернистость снижается, при работе образуется много пыли.

Чугунная дробь дороже кварцевого песка, но имеет большой срок службы. Чугунную дробь не рекомендуется применять, для очистки деталей из нержавеющей стали и цветных металлов, так как остающиеся после очистки на поверхности деталей частицы чугуна ржавеют. Использование чугунной дроби для очистки зачастую приводит к упрочнению поверхности детали. В зависимости от форм и толщины стенок обрабатываемой детали применяют чугунную дробь и чугунные опилки разной зернистости, для этого их просеивают через сито с отверстиями соответствующих диаметров. Зернистость чугунной дроби или опилок колеблется в пределах от 0,2 до 3 мм.

Для обработки нержавеющей стали, цветных металлов, а также металлизированных поверхностей применяют мягкие материалы, например, дробленые пластмассы. Обрабатываемая поверхность после обработки мягкими материалами становится матовой или блестящей. При выборе материала (и его зернистости) для обработки поверхностей исходят из того, для какой цели используется пескоструйная обработка (подготовка поверхности к покраске, удаление загрязнений и окалины, удаление старых лакокрасочных покрытий, удаление обрастаний и т.п.).

Пескоструйная обработка осуществляется в аппаратах как открытого, так и закрытого типов. После использования материала его собирают, промывают, просушивают и, при необходимости, разделяют по зернистости. Перед химической или электрохимической обработкой поверхности пескоструйную обработку практически не применяют.

Водоструйная обработка поверхностей осуществляется тонкой струей воды, выходящей из сопла аппарата под высоким давлением (до 200 атм). Широкое применение эта обработка получила для очистки поверхностей корпусов судов и крупных резервуаров от обрастаний, прочно удерживающихся субстант, старой краски (например, водоструйная установка германской фирмы «Вома»). При обработке этим способом поверхность становится гладкой, блестящей. Однако после обработки этим способом поверхность подвержена быстрой коррозии, поэтому, если есть возможность, ее просушивают и немедленно наносят защитные покрытия. При использовании водоструйной очистки необходимо соблюдать меры предосторожности, так как струя воды, выходящая из сопла, способна нанести смертельную травму окружающим. Отдача ручного струйного пистолета составляет 20...50 кг (в зависимости от диаметра сопла), что предъявляет высокие требования к физическому развитию обслуживающего персонала.

Для очистки с поверхностей предметов легко (или относительно легко) удаляющихся субстант (отслаивающейся краски, обрастаний, водорослей и др.) применяют стальные и капроновые щетки, приводящиеся в движение с помощью электро- или пневмоприводов. Этот способ не позволяет удалять окалину и весьма трудоемок.

Шлифование, крацевание и полирование являются самыми распространенными методами механической обработки поверхности перед нанесением гальванических покрытий. Этими способами обработки достигается требуемое качество поверхности и повышается коррозионная стойкость изделий. В данном случае механическая обработка не преследует цели получения точных размеров деталей. Шлифованием обрабатывается поверхность металлов перед крацеванием, полированием и другими видами обработки поверхности. Полированием обрабатывают поверхность основного металла и гальванические покрытия. Шлифуют и полируют также детали лакированные, металлизированные и детали, поверхность которых не подвергается дальнейшей обработке, например изделия из пластмасс, цветных металлов и др.

Шлифование – это механический процесс снятия неровностей металла. Инструмент, применяющийся при шлифовании перед гальваническим покрытием, представляет собой абразив, наклеенный на фетровый или матерчатый круг или ленту. Режущие кромки абразивных зерен такого шлифовального круга срезают стружку с поверхности металла соответственно

зернистости данного абразива. Таким образом, шлифование фетровым или матерчатым кругом можно сравнить с фрезерованием, при котором режущие кромки фрезы, совершая вращательные движения, постепенно снимают стружку. Шлифование лентой на плоской подкладке уподобляется строганию, так как острия зерен здесь движутся прямолинейно и снимают стружку по всей длине площади соприкосновения предмета со шлифовальной лентой. Шлифовальные пасты являются при шлифовании вспомогательными материалами, с помощью которых получают более высокое качество обработанной поверхности и улучшают процесс шлифования.

Для *крацевания* применяют два вида щеток, так как назначение крацевания бывает разным. Щетки делают из мягких натуральных и искусственных материалов и металлической проволоки. При крацевании мягкими щетками их смазывают абразивными пастами, и обработка, таким образом, производится свободным абразивом. В результате крацевания обработанная поверхность становится гладкой и приобретает однородный вид. Крацевание происходит перед гальванической металлизацией и полированием. Механическое воздействие металлических щеток при крацевании зависит прежде всего от диаметра, длины и материала проволоки и от окружной скорости круга. Чем больше твердость, диаметр и длина проволок и окружная скорость щеток, тем больше их способность снимать стружку. Щетками из стальной проволоки очищают загрязнения с поверхности деталей, а щетками из тонких медных или латунных проволок детали матируют.

Полированием снимаются микроскопические частицы металла с обрабатываемой поверхности. Разница между шлифованием и полированием состоит в том, что при полировании снятие материала совершенно незначительно по сравнению со шлифованием. Полирование производится фетровым или тканевым диском, на который наносится полировальная паста. Эта паста с очень тонко измельченным абразивом снимает неровности, и материал одновременно полируется тканью или фетром. Полированию подвергаются гальванические покрытия и основной материал детали. Целью полирования является получение декоративного внешнего вида (глянца) и увеличение коррозионной стойкости детали.

Голтовка – это процесс обработки поверхностей небольших деталей, основанный на истирании деталей, голтовочных материалов, абразивов и жидкости во вращающемся барабане. При правильно подобранном мате-

риале и режиме голтовки не только заглаживаются неровности поверхностей предметов, но и последние полируются так, что их поверхность приобретает зеркальный блеск. Голтовка заменяет ручное шлифование и полирование. Голтовке подвергаются детали размером до 150 мм и весом до 1 кг, которые сложно шлифовать и полировать. При голтовке снятие материала производится неравномерно: наибольшее – на ребрах и углах, наименьшее – на плоских поверхностях. Обрабатываемые детали не должны иметь больших дефектов поверхности. Голтовку проводят с целью: сгладить поверхность изделий; получить поверхность с разной степенью глянца; удалить продукты коррозии и окалины, оставшиеся после термической обработки; удалить остатки флюсов от сварки; упрочнить поверхность мягких металлов, например латуни. В качестве голтовочных материалов используют стеклянные шарики, деревянные брусочки, фруктовые косточки и др. Например, стеклянные шарики очень эффективно используются для голтовки янтарных бус. Голтовочные материалы могут состоять и из смеси, например, глинозема, боксита и карборунда разной зернистости. Размеры голтуемых тел влияют на продолжительность голтовки и на качество получаемой поверхности. При выборе размеров голтуемых тел руководствуются следующими принципами:

- в процессе голтовки размеры голтуемых тел уменьшаются;
- при голтовке ребер и острых выступов более эффективны крупные голтуемые тела;
- для голтовки плоских поверхностей применяют малые голтуемые тела, при этом скорость голтовки снижается, зато качество обработки поверхности получается более равномерным;
- голтуемую способность тел можно восстановить введением различных абразивов (корунд, наждак, раздробленный фарфор, пемза, кварцевый песок). В качестве жидкости обычно используют мягкую воду (реже керосин), в которую добавляют различные добавки (щелочные или кислые, которые одновременно являются травильными и полировальными растворами). Плотность жидкости и ее объем значительно влияют на качество голтовки.

11.2. Обезжиривание материалов

Обезжиривание материалов относится к одному из способов подготовки поверхностей деталей перед той или иной их отделкой (склеивание,

окраска, гальваническая обработка и т.п.). Под обезжириванием понимают операцию очистки поверхности изделия от механически приставших загрязнений, не соединенных химически с металлом, т.е. речь идет не только об удалении жировых загрязнений, но и об удалении механически приставших твердых загрязнений. Обезжиривание в щелочных растворах (иногда с применением электрического тока), в органических растворителях и эмульсионное обезжиривание относится к черновой обработке, при которой с поверхности материала удаляются в большей или меньшей степени загрязнения, попавшие на нее при хранении, механической обработке, в результате эксплуатации и т.п. При обезжиривании могут встречаться загрязнения в виде органических и неорганических веществ. К первым относятся разные минеральные масла (смазочные, консервирующие и др.), вазелины, жиры, воски, парафин, стеарин и т.п. Ко вторым относятся неорганические остатки (полировальные пасты, пыль и другие твердые загрязнения). Вещества, входящие в загрязнения, могут переходить в раствор обезжиривания в виде растворимых соединений или удаляться с поверхности материала не растворением, а путем других физико-химических процессов. На процесс обезжиривания влияет состав растворов, смываемость раствора, его температура, механические воздействия и т.п.

Для щелочного раствора обезжиривания в первую очередь необходимы сульфированные жирные соединения, растворы которых сильно вспениваются, хорошо смачивают, диспергируют и эмульгируют.

Представителем этой группы поверхностно активных веществ является синтапон СР (порошок), содержащий в качестве активного компонента 27% смеси сульфированного олеилалкоголя и ацетилалкоголя. Отношение $\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2$ в сортах силикатов, поступающих в продажу, самое разнообразное: от ортосиликата (2:1), сесквисиликата и метасиликата до жидкого стекла с соотношением около 1:3. При выборе того или иного силиката руководствуются требуемой щелочностью раствора или (при обезжиривании легких металлов) их способностью разрушаться щелочами.

Из фосфатов следует указать в качестве обезжиривающего компонента ортофосфат, а для смягчения жесткости воды – пиррофосфат и разные полифосфаты.

Состав ванн обезжиривания можно изменять путем комбинирования основных компонентов и получать различные эффективные растворы

обезжиривания (табл. 51). В общих чертах эти растворы подразделяются на:

а) очень щелочные растворы (рН 12...14) – для грубой очистки стали от сильного загрязнения;

б) среднещелочные растворы (рН 11...12) – преимущественно черного обезжиривания при подготовке поверхностей;

в) слабощелочные растворы (рН 10...11) – для обезжиривания цветных и легких металлов.

Таблица 51

Составы щелочных растворов для стали, составленные из разных химикатов

Компоненты, в %	Номер раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	32	–	55	35	50	–	–
$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	–	–	–	5	30	–	25
$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	–	–	–	50	–	–	–
Na_2SiO_4	–	85	–	–	–	–	–
Na_2CO_3	46	10	35	–	13	60	25
NaOH	16	–	10	8	–	30	50
Поверхностно-активные вещества	6	5	–	2	7	10	–

По способу же применения растворы подразделяются на пенящиеся растворы – для обезжиривания погружением и на непенящиеся растворы (без поверхностно-активных веществ или с непенящимися поверхностно-активными веществами) – для обезжиривания обрызгиванием.

При приготовлении растворов обезжиривания хорошие результаты дают следующие составы:

а) раствор для обезжиривания стальных и чугунных деталей погружением:

$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ – 10...20 г/л, оптимум 15 г/л;

$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ – 25...50 г/л, оптимум 35 г/л;

синтапон СР в порошке – 1-3 г/л, оптимум 2 г/л.

К составу этого раствора больше всего приближаются 4...7%-ные растворы препарата P_3S ;

б) раствор для обезжиривания стальных и чугунных деталей обрызгиванием:

$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ – 3...10 г/л, оптимум 6 г/л;

$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ – 10...20 г/л, оптимум 14 г/л.

Ближе всего к составу этого раствора подходят 1...3%-ный раствор препарата Р₃;

в) щелочная ванна обезжиривания для обезжиривания цветных и легких металлов:

$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ – 5...10 г/л, оптимум 8 г/л;

Na_2CO_3 безводный – 5...10 г/л, оптимум 8 г/л;

жидкое стекло 1:3 – 25...50 г/л, оптимум 40 г/л;

синтапон СР в порошке – 1...3 г/л, оптимум 2 г/л.

Ближе всего к составу этого раствора подходят 2...5%-ный раствор препарата Р₃.

Обезжиривание в органических растворителях является относительно быстрым способом, но в большинстве случаев поверхность очищается недостаточно, поэтому его используют главным образом для предварительной очистки сильно замасленных предметов перед дальнейшим их обезжириванием (электролитическим).

Обезжиривание в органических растворителях стоит дороже – как за счет высокой стоимости самих растворителей (расходы на регенерацию использованных растворителей), так и за счет расходов на обеспечение необходимых санитарных требований, поскольку испарения большинства растворителей являются вредными для человека, а также огнеопасными.

Обезжиривание в органических растворителях мелких деталей осуществляют погружением, а крупных – обтиранием. Это обезжиривание применяют: для удаления толстых слоев жира; для обезжиривания поверхностей сложной конфигурации; для обезжиривания крупногабаритных изделий.

В качестве растворителей используются бензин, керосин и хлорированные углеводороды. Бензин растворяет большинство жиров, относительно устойчив, однако легко воспламеняется и зачастую ядовит. Керосин более гигроскопичен, чем бензин, менее горюч, при длительном обезжиривании позволяет удалять окалину. Бензин и керосин применяют при штучном обезжиривании деталей путем погружения и воздействия щеткой. После обезжиривания требуется тщательная просушка (обычно в опилках). Эти растворители ухудшают адгезию последующих покрытий поверхностей. В крупных производствах используют растворители из ряда хлорированных углеводородов, в основном трихлорэтилен ($\text{CHCl} = \text{CCl}_2$) и тетрахлорэтилен ($\text{CCl}_2 = \text{CCl}_2$), которые не огнеопасны, относи-

тельно устойчивы и менее ядовиты. Они очень хорошо растворяют большинство жиров, легко поддаются регенерированию. При их применении необходимо соблюдать определенные правила, поэтому их применяют в специальных аппаратах. При воздействии трихлорэтилена на алюминий могут произойти реакции, при которых выделяется большое количество тепла, и весь трихлорэтилен быстро разлагается, что иногда сопровождается взрывом (при большой площади соприкосновения, например, при наличии в растворе большого количества алюминиевой стружки).

Электролитическое обезжиривание используют для удаления последних остатков жира и некоторых других загрязнений с поверхности металлических изделий перед гальванической металлизацией, причем процесс обезжиривания может сопровождаться одновременно с омеднением.

По существу электролитическое обезжиривание можно считать обезжириванием в щелочном растворе с применением электрического тока. К эмульгированию, диспергированию и растворению добавляется механическое действие пузырьков газов, выделяющихся на электродах (один из которых является обрабатываемой деталью). Таким образом, время электролитической очистки значительно меньше, чем при обезжиривании без электрического тока. Требуемую плотность тока 10...30 А/дм² обеспечивают необходимой щелочностью раствора (соли NaCl или Na₂SO₄ в растворе неприемлемы) и повышением температуры раствора до 60...100°C.

Из предшествующего анализа факторов, влияющих на процесс электролитического обезжиривания, видно, что состав растворов в данном случае не имеет такого большого значения, как состав некоторых растворов при гальванической металлизации.

В настоящее время найден определенный ассортимент отдельных компонентов раствора электролитического обезжиривания, который можно считать почти установившимся. К ранее применяемым материалам – едкому натру и соде, придающим электролиту необходимую щелочность и электрическую проводимость – в настоящее время добавились вещества, которые благодаря своим физико-химическим свойствам облегчают обезжиривание. Это прежде всего силикаты с самым различным соотношением Na₂O: SiO₂ и фосфаты. Цианиды для этих целей перестают применять потому, что их функции при обезжиривании могут быть выполняемы другими, неядовитыми и более устойчивыми, компонентами раствора. Отказались также и от применения буры. По некоторым данным, алюминат натрия и винный камень могут защищать цинк и алюминий от

воздействия электролита обезжиривания, но в больших масштабах эти вещества не применяются.

В настоящее время используются также электролиты, содержащие поверхностно-активные вещества. В табл. 52 приведены составы растворов наиболее распространенных электролитов обезжиривания.

Таблица 52

Состав некоторых электролитов для обезжиривания стали

Компоненты	Номер раствора					
	1	2	3	4	5	6
Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	35	—	—	55	25	30
Na ₄ P ₂ O ₇	5	9	—	—	—	—
Na ₂ SiO ₃ ·5H ₂ O	50	35	—	—	—	—
Na ₄ SiO ₄	—	—	50	—	—	—
Жидкое стекло	—	—	—	—	—	5
Na ₂ CO ₃	—	—	20	35	55	30
NaOH	8	55	28	10	20	35
Смачивающее вещество	2	1	2	—	—	—

Для каждого отдельного случая можно подобрать подходящий электролит, учитывая при подборе компонентов самые различные обстоятельства: требования к степени чистоты поверхности, стоимость химикатов, данные условия производства и др.

Электролитическое обезжиривание можно осуществлять как при катодном, так и при анодном включении предмета, однако на катоде выделяется вдвое больше водорода, чем кислорода на анодах, вследствие чего получается двукратный механический эффект, однако в катодном пространстве происходит местное увеличение щелочности, что может привести к коррозии некоторых металлов (олово, цинк, свинец, медь). Катодное включение не должно продолжаться более 3 мин, так как возможно появление водородной хрупкости материала.

Эмульсионное обезжиривание – это комбинированный способ очистки поверхностей с одновременным применением растворителя и эмульгатора. Эмульсионное обезжиривание обеспечивает быструю очистку и является наиболее эффективной операцией черновой очистки. Одновременное воздействие органического растворителя со щелочным раствором обезжиривания или с эмульгатором не только упрощает очистку тем, что обе операции объединяются, но также значительно повышает эффективность

раствора. В зависимости от содержания воды в растворе эмульсионное обезжиривание подразделяют на два способа: эмульсионную очистку (эмульгатор разбавляется слабым щелочным раствором в соотношении от 1:10 до 1:200) и эмульсионное растворение (используют в основном концентрированные препараты в соответствующей пропорции или с таким содержанием воды, при котором она при рабочей температуре полностью смешивается с растворителем). Средний состав эмульсионного очистительного препарата содержит: растворителя 30...90%, эмульгатора 4...40%, стабилизатора 10...20%, воды 10...20%. Примером эффективного препарата может служить раствор, содержащий: 88% керосина, 72% олеина, 3,8% триэтаноламина, 1% триклезол. При растворении 100 г этого препарата в 1 л воды и скорости окунания 10 раз в минуту продолжительность очистки составляет 0,5...3 мин при температуре раствора 90...50°C.

В настоящее время выпускается самое большое число различных препаратов для эмульсионного обезжиривания, например «Декарбон Т», «Декарбон V» и другие, содержащие различные пропорции растворителя и эмульгатора. При использовании всех эмульсионных очистительных препаратов необходимо соблюдать меры предосторожности.

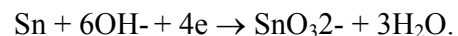
11.3. Гальваническая обработка металлов

Гальваническое лужение нашло широкое распространение в консервной промышленности для покрытия внутренних поверхностей консервных банок. Катодный характер олова обеспечивает достаточную защиту стального основания от действия органических кислот в отсутствии атмосферного воздуха. Олово образует нерастворимые окислы (SnO, SnO₂), достаточно стойкие в атмосфере и в воде. Олово получают электролизом как из кислых растворов солей закиси олова, так и из щелочных электролитов (станнатов). Из кислых растворов при одинаковой плотности тока олово осаждается в 2 раза быстрее, чем из щелочных.

Щелочные растворы готовят несколькими способами, например, из четыреххлористого олова:



или анодным растворением олова в растворе гидроокиси щелочных металлов:



Анодное и катодное пространства разделяются с помощью диафрагмы. Катодами служат стальные листы. Плотность тока составляет 1...2 А/м², температура электролита 70°C. Для повышения качества покрытия в раствор добавляют небольшие количества окислителя, например перекиси водорода или пербората натрия.

Наиболее приемлемым составом кислых растворов является: H₂SO₄ концентрированная – 100 г/л, SnSO₄ – 54 г/л, крезол или фенол (для снижения роста крупных кристаллов олова на поверхности лужения) 20...30 г/л, желатин или клей (для улучшения осаждения олова из кислых растворов) 2,5 г/л, плотность тока 2,5 А/дм², температура состава ≥ 20°C. В процессе лужения необходимо постоянно следить за процентным содержанием состава раствора, проводить его соответствующую фильтрацию и обновление. Для снижения пористости покрытия после лужения тонким слоем возможно применение оплавления покрытия.

Хромирование является одним из наиболее распространенных и имеющих большое значение гальванических процессов. Электрохимически осажденные хромовые покрытия имеют исключительные химические и физические свойства, они устойчивы против атмосферной коррозии при нормальной и при повышенной температуре, очень тверды и стойки против механического износа, имеют небольшой коэффициент трения и большую отражательную способность. Эти покрытия применяются для двух совершенно различных целей:

- для придания декоративного вида никелированным омедненным, оцинкованным и латунированными деталям;
- для повышения износоустойчивости поверхностей деталей, подвергающихся износу (валы, вращающиеся детали, поршневые кольца или режущий инструмент).

Хромированием можно защитить от износа детали, не бывшие в эксплуатации, а также восстановить детали, износившиеся во время эксплуатации. Хромовым покрытием размеры износившейся детали увеличиваются до требуемых, что дает возможность снова использовать ее по назначению. Доброкачественные хромовые покрытия осаждаются только из растворов хромовой кислоты, к которым добавляются соответствующие вещества, обычно неорганические кислоты. Наиболее приемлемыми для хромирования являются электролиты, содержащие хромовую и серную кислоты (распространенными составами являются: CrO₃ – 150 г/л, H₂SO₄ –

2,5 г/л; CrO₃ – 350 г/л, H₂SO₄ – 3,5 г/л). Достоинством первого раствора является меньшая потеря хромового ангидрида CrO₃ при выемке деталей из ванны, второго – большее постоянство состава электролита. При приготовлении электролита для твердого хромирования содержание хлористого ангидрида уменьшают, а серной кислоты – увеличивают (CrO₃ → 80 г/л, H₂SO₄ → 2,5 г/л), а для декоративного покрытия – наоборот (CrO₃ → 450 г/л, H₂SO₄ → 0,8% от количества CrO₃). Поскольку хром находится в растворе, необходимо постоянно следить за состоянием концентрации электролита. Хромирование производится при плотности тока 25 А/дм² и температуре электролита 450°C.

Кадмий образует с органическими соединениями как простые, легко растворимые в воде и устойчивые соли, так и комплексные соли, из которых для гальванических целей наиболее важное значение имеет цианистый комплекс. Кадмий можно осаждать из кислых электролитов, содержащих кадмий в виде элементарных ионов, и из щелочных электролитов, в которых кадмий находится в виде комплексного цианисто-кадмиевого аниона. В последнее время широкое применение получил щелочной цианистый электролит, так как он малочувствителен к изменению своего состава:

CdO в г/л	30,
NaCN в г/л	120,
NaOH в г/л	10,
NiSO ₄ кристаллический в г/л	2,
сульфированное касторовое масло в г/л	1,
плотность тока в А/дм ²	1...2,5,
напряжение на зажимах в В	1...3,
температура в °С	18...25.

При составлении электролита можно исходить из окислов, гидроокисей, сульфата или цианида кадмия или непосредственно из соответствующего комплексного кадмиевого цианида. В основном нет причин для того, чтобы отдавать предпочтение тому или иному из этих химикатов.

В настоящее время для *меднения* используют следующий электролит, который содержит:

- медь в форме комплексной цианистой соли меди в количестве 20...70 г/л;
- свободный цианид в количестве 5...15 г/л;
- карбонат натрия (калия) в количестве 0...100 г/л;

- в некоторых случаях едкое кали или едкий натр, сегнетову соль, блескообразующие добавки и т.п.

Первые три вещества содержатся в любом медноцианистом электролите, а гидроокись калия или натрия и сегнетова соль применяются только в специальных ваннах. Блескообразующие добавки применяются относительно редко. Обычный медный электролит имеет, например, следующий состав и режим работы: цианистая медь CuCN в г/л – 45, цианистый натрий NaCN в г/л – 55, карбонат натрия Na_2CO_3 в г/л – 15, едкий натр NaOH в г/л – 3, плотность тока – 2 А/дм², температура электролита 40...45°C. Электролит меднения с большим содержанием меди содержит: цианистую медь – 120 г/л, цианистый калий – 175 г/л, карбонат калия 60 г/л, едкое кали 35...48 г/л, блескообразующие добавки KCNS – 10 г/л; плотность тока – до 6 А/дм², температура электролита – 70...85°C. Медный электролит с сегнетовой солью содержит: CuCN – 26 г/л, NaCN – 35 г/л, Na_2CO_3 – 30 г/л, сегнетовую соль $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 45 г/л; температура электролита 55...70°, плотность тока до 6 А/дм². Главным недостатком всех трех указанных электролитов является малая устойчивость их состава. В обычных электролитах меднения и электролитах с сегнетовой солью цианиды – как в комплексном, так и в свободном состоянии – неустойчивы и непрерывно разлагаются. В электролитах меднения с большим содержанием меди неустойчива также и гидроокись натрия.

Наибольшее значение имеют медные покрытия в качестве промежуточного слоя при защитном и декоративном хромировании. В качестве промежуточного слоя (с толщиной 2...4 мк) их применяют также при лужении стальных деталей.

Медные покрытия без дальнейшего защитного слоя (металлического или бесцветной органической краски) непригодны ни для декоративных целей, ни в качестве защиты против атмосферной коррозии, так как после полировки они на воздухе очень быстро окисляются и теряют свой блеск.

Очень распространено применение медных покрытий в качестве защиты некоторых поверхностей стальных деталей перед цементацией. Части поверхностей деталей, подлежащие цементации, изолируются соответствующей краской или смесью воска, а другие части, не подлежащие цементации, меднятся сначала в щелочном растворе, а затем в кислом электролите. Толщина медного слоя зависит от условий цементации и обычно равна 25...50 мк.

Медные покрытия очень распространены в гальванопластике при электролитическом производстве типографских форм, при изготовлении матриц, при гальванопластическом производстве точных полых деталей и т.п. В этом случае применяют те же растворы и режимы работы, как и при покрытии для антикоррозионной защиты.

Латунирование применяют в следующих случаях:

- латунные покрытия толщиной около 2 мк улучшают адгезию резины со сталью;

- для декоративно-защитных целей;

- в качестве подслоя при декоративном хромировании стали.

Растворы для латунирования содержат следующие компоненты:

- медь в виде комплексной цианисто-калиевой соли меди в количестве от 10 до 30 г/л;

- цинк в виде комплексной цианистой соли цинка в количестве от 10 до 30 г/л; количество меди и цинка колеблется между 15 и 50 г/л, соотношение меди и цинка бывает от 1:3 до 3:1;

- свободный цианид;

- углекислый натрий (до 60 г/л) или углекислый калий (до 110 г/л).

Кроме этих основных компонентов электролит латунирования содержит также:

- едкий натр или едкое кали в количестве до 10 г/л;

- аммиак и аммониевые кислоты в виде хлористого или сернокислого аммония;

- блескообразующие добавки.

Никелевые покрытия применяют как для защиты от коррозии, так и для декоративных целей, причем никелевые покрытия наносятся на все наиболее важные основные материалы, т.е. на сталь, чугун, медь, цинк, алюминий, сплавы этих металлов и т.д. Никелевые покрытия, осажденные в электролитах обычного типа для никелирования, получают матовыми или полублестящими, поэтому для декоративных целей, а также перед последующим хромированием эти покрытия необходимо полировать.

Для электролитического осаждения никелевых покрытий на практике применяют кислые растворы, чаще всего сульфатные. Иногда, особенно при осаждении очень твердых покрытий, применяют растворы из хлоридов или из сульфатов с большим содержанием хлоридов, прежде всего – с хлоридом аммония.

Наиболее часто применяемым типом ванны является электролит, содержащий 50...60 г/л Ni (что соответствует 250 г/л сернокислого никеля $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Этот электролит работает при повышенной температуре 30...50°C, при pH от 4,0 до 5,5 и при плотности тока 2...3 А/дм². Для увеличения скорости осаждения покрытия повышают содержание Ni до 75...90 г/л и работают при температуре 50...60°C, с плотностью тока 4...10 А/дм².

Применение различных составов электролитов для никелирования приведено в таблице 53.

Таблица 53

Электролиты никелирования

Состав электролита, в г/л	Режим работы	Примечание
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 70-100 NaCl , 15-20 H_3BO_3 , 15-20	pH 5,3 20...30 °C D_k 0,5...2 А/дм ²	Раствор не перемешивается
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 140-200 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 80-160 KCl , 20 H_3BO_3 , 20	pH 5,3 30...40 °C D_k 1,5...2,5 А/дм ²	Электролит с большой электрической проводимостью и рассеивающей способностью. Для нанесения покрытия на детали сложного профиля
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 200 NaCl , 45 H_3BO_3 , 30	pH 5,3 50...60 °C D_k 2...5 А/дм ²	Электролит типа Уоттса, допускающий применение более высоких плотностей тока
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 155-280 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 37-56 H_3BO_3 , 25-37	pH 5,2...5,8 50...70 °C D_k 1,5...5 А/дм ²	Электролит типа Уоттса с высокой температурой для матовых мягких покрытий
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 250 H_3BO_3 , 25	pH 2,0 60 °C D_k 2...10 А/дм ²	Для осаждения полутвердых покрытий (твердостью 230...260 HV)
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 150 NH_4Cl , 20 H_3BO_3 , 25	pH 5,6...5,9 50...60 °C D_k 2,5...5 А/дм ²	Электролит для осаждения твердых покрытий (твердостью 380...500 HV)

$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 100 $\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 25 NH_4Cl , 19 H_3BO_3 , 19	pH 5,6...5,9 свыше 16 °C D_k 0,5...1 А/дм ²	Электролит для медленного никелирования, пригодный для большинства видов стали
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 250 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 45	pH 4,0...5,0 40...55 °C	Электролит со средней скоростью осаждения
H_3BO_3 , 25 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 60	D_k 2...3 А/дм ²	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ можно заменить таким же количеством $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Ввиду того, что электролит никелирования имеет кислый характер, следует уделять особое внимание тщательной очистке поверхности деталей. Никелевые покрытия, и особенно покрытия, осаждаемые из электролитов блестящего никелирования, требуют тщательного обезжиривания с целью максимального устранения опасности отслаивания покрытий. В настоящее время на практике применяют почти исключительно двойное электролитическое обезжиривание в горячем растворе (без цианидов), проводимое в двух ваннах при катодном и анодном включении деталей и при плотности тока не ниже 5 А/дм². Продолжительность обезжиривания устанавливается в зависимости от степени загрязнения поверхности и чаще всего бывает равной 1-2 минутам. К стали с большим содержанием углерода (свыше 0,35%) или к закаленной стали никелевые и другие покрытия пристаю́т хуже, поэтому такую сталь перед никелированием целесообразно протравливать в растворе 250...1000 г/л серной кислоты на аноде при плотности тока 10...50 А/дм² и при температуре не выше 30°C. Зачастую никелирование осуществляют по медному подслою. Основной задачей, подлежащей решению при никелировании алюминия и его сплавов, является сцепление покрытия с основой. В данном случае трудности создаются благодаря естественной очень тонкой беспористой окисной пленке, всегда имеющейся на поверхности алюминия и препятствующей прочному сцеплению гальванического покрытия с основой. Поэтому поверхность деталей перед нанесением покрытия следует специальным образом подготовить. Для этого на практике применяют два способа. Первый состоит в том, что деталь сначала анодно оксидируют таким образом, чтобы образующаяся окисная пленка была пористой. Тогда достигается удовлетворительное сцепление осажденного металлического покрытия с основным металлом через оксидную пленку. Этот процесс относительно дорог, и применяют его в некоторых специальных случаях. Значительно

шире применяется более простой способ, состоящий из так называемой цинкатной обработки, при помощи которой на поверхности детали образуется тонкая пленочка цинка, обеспечивающая достаточное сцепление осаждаемого затем металлического покрытия.

Предварительная обработка поверхности состоит из следующих основных операций:

- механическая обработка поверхности;
- обезжиривание в растворителе;
- очистка в слабом щелочном растворе (около 5 мин при 70...80°C);
- промывка в горячей воде (60°C);
- травление в кислом или щелочном растворе;
- промывка в горячей воде (60°);
- обработка в азотной кислоте;
- двухкратная промывка в холодной воде;
- травление в цинкатном растворе (по 2-3 мин) или анодное оксидирование;
- промывка (окунанием) в холодной воде с последующей промывкой под душем;
- нанесение гальванического покрытия.

При никелировании нержавеющей стали, например хирургических инструментов, необходимо предварительно удалить окисную пленку. Эта операция обычно осуществляется либо в 10%-ном растворе серной кислоты, либо в растворе хлористого никеля и соляной кислоты ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 200 г/л, HCl – 100 г/л), либо в 50%-ном растворе соляной кислоты при нормальной температуре в течение 5-10 мин.

Для декоративных целей применяют также черное никелирование деталей, при этом цвет покрытия может менять оттенки от сероватого до сине-черного и черного в зависимости от состава электролита (табл. 54).

Таблица 54

**Составы электролитов и режимы
работы для черного никелирования**

Состав электролита, в г/л	Режим работы
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 65	Температура 25...35°C
$\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 39	D_k 0,05...0,15 А/дм ²
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 33	pH 5,8...6,1
NaCNS , 13	Продолжительность 20...40 мин

Состав электролита, в г/л	Режим работы
$\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 80 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 10 NaH_4CNS , 20 As_2O_3 , 15	Температура около 35°C D_k 0,05...0,15 А/дм ² Напряжение 0,5...0,7В
$\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 90 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 4 Na_2SO_4 , 15 $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$, 4	Температура около 35°C D_k 0,1 А/дм ² Напряжение 0,5...0,7В
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 75 $\text{NiSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 50 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 40 NaH_4CNS , 15	Температура 20...35°C D_k 0,05...0,1 А/дм ² pH 6,0...6,3 Продолжительность 20...30 мин

Блестящие никелевые покрытия осаждаются обычно на механически отполированный медный подслои или на блестящие медные подслои, осажденные непосредственно из электролита. Осаждение блестящих никелевых покрытий по стали без подслоя возможно только при условии, если поверхность стали имеет высокую чистоту поверхности, так как блестящее никелевое покрытие копирует все неровности и дефекты поверхности основного металла. Однако даже при наличии у стальных деталей такой поверхности целесообразнее сначала осаждают для лучшей адгезии тонкое медное покрытие (1,5...2,5 мк) в щелочном электролите меднения или никелевое покрытие в электролите никелирования, сильно подкисленном соляной кислотой. Технологический процесс для блестящего покрытия такой же, как и при матовом никелировании.

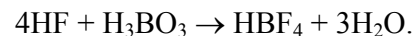
Электролиты блестящего никелирования очень чувствительны к металлическим и органическим загрязнениям. Наиболее вредным из металлов является медь, даже в небольших количествах, например 0,001 г/л, затем в порядке ослабления вредного влияния идут цинк, железо и свинец. Из органических веществ вредны разложившиеся блескообразователи, растворенные изоляционные материалы приспособления, недостаточно удаленные остатки подготовительных растворов и т.п. Металлические загрязнения удаляются электролитически, а все органические вещества – фильтрацией через плотные салфетки, через активированные угли или через инфузорную глину.

Свинцевание распространено в значительно меньшей степени, чем другие гальванические процессы. В последние десятилетия удалось путем использования комплексных соединений свинца на основе борофтористоводородной и кремнефтористоводородной кислот разработать составы растворов для свинцевания, обеспечивающие получение высококачественных покрытий. Другой причиной, из-за которой до сих пор электролитическое осаждение свинца не находило широкого применения, является его относительно легкая окисляемость, вследствие чего покрытия свинцом имеют некрасивый темный цвет. По этой причине никогда не применяют свинцовые покрытия для декоративных целей, а применяют их лишь для защиты поверхности металлов против воздействия некоторых сред, сильно корродирующих металлы.

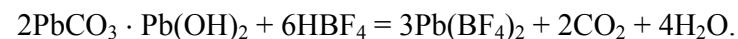
По своему электрохимическому характеру свинец относится к металлам более благородным, чем железо. В местах, где повреждено свинцовое покрытие, стальная основа при воздействии на нее окружающей среды, будет являться анодом образующегося местного элемента свинец-железо; это повлечет за собой быстрое разрушение основного металла. Скорость этого разрушения с течением времени уменьшается, так как образующиеся на поверхности продукты коррозии препятствуют свободному доступу коррозионной среды к основному металлу, если пленка ржавчины не повреждена по какой-либо причине. В последнем случае возможен дальнейший анодный процесс, а следовательно, и дальнейшее разрушение железа.

Свинец, как и большинство других металлов, можно осаждать из кислых и щелочных растворов. В качестве щелочи используется едкое кали или едкий натр. Примером щелочного раствора является электролит, который используется при температуре 80...90°C и плотности тока 1...2 А/дм² и содержит: Pb(CH₃COO)₂ – 75 г/л, NaOH – 200 г/л, розин – 3...10 г/л.

Борофтористоводородные электролиты готовят растворением основной углекислой окиси свинца в смеси фтористоводородной и борной кислот. При этом образуется растворимая соль – борофтористокислый свинец. При приготовлении электролита образуется преимущественно борофтористоводородная кислота:



При реакции с основным карбонатом свинца образуется борофтористокислый свинец:



В реакциях этого типа обычно не сохраняются стехиометрические соотношения. Добавляемое количество борной кислоты больше, чем это соответствует реакции получения HBF₄; таким образом, целесообразно поддерживать некоторый избыток борной кислоты и в электролите. Точно так же и количество вводимой соли основного карбоната свинца не вполне соответствует второй реакции, и в электролите всегда остается избыток свободной борофтористоводородной кислоты.

Рекомендуются следующие оптимальные условия электролиза:

- концентрация свинца не должна быть ниже 100 г/л;
- концентрация свободной борофтористоводородной кислоты должна быть 25...40 г/л;
- концентрация свободной борной кислоты должна соответствовать 12...15 г/л.

В электролите не должно быть свободной плавиковой кислоты.

Серебряные покрытия имеют очень большое значение для многих областей промышленности. Например, в электротехнической промышленности используется высокая электрическая проводимость серебра (для волноводов, всевозможных контактов электронных ламп, приборов связи и т.п.).

Так как серебро химически очень стойко против воздействия многих химикатов, серебряные покрытия применяются в химической промышленности в качестве антикоррозионной защиты разных химических аппаратов.

Благодаря хорошим физическим свойствам серебряные покрытия применяют также при производстве подшипников скольжения.

Для серебрения применяют исключительно цианистые электролиты. Многочисленные попытки заменить их другими, например на базе азотнокислых солей серебра, иодида серебра и т.д., оставались безуспешными. Комплексные цианистые электролиты применяют уже более ста лет, и только из комплексной серебряной соли осаждаются годные для практического применения покрытия. В специальной литературе имеется много рецептов комплексных цианистых электролитов, отличающихся друг от друга количеством серебра, свободного цианида и щелочных карбонатов, а главным образом – применяемыми блескообразующими добавками.

Комплексный цианистый электролит серебрения содержит:

- серебро в виде комплексной серебряной соли в количестве 2...120 г/л;

- свободный цианид в количестве 5...45 г/л CN;
- карбонаты натрия или калия в разном количестве.

Кроме этих основных веществ электролит серебрения содержит:

- едкое кали;
- блескообразующие добавки.

По содержанию в них серебра цианистые электролиты серебрения подразделяются на три группы:

а) электролиты для предварительного серебрения, содержащие 1...6 г/л серебра;

б) электролиты для декоративного и технического серебрения, содержащие 10...40 г/л серебра;

в) электролиты скоростного серебрения, предназначенные для осаждения толстых покрытий (от 0,1 до 1,5 мм), содержащие до 120 г/л серебра.

Предварительное серебрение применяется для улучшения сцепления серебряного покрытия с основным металлом. Для стали применяют во всех случаях два электролита предварительного серебрения, а для цветных металлов один.

Составы и режимы работ электролитов

Электролит для предварительного серебрения стали (электролит 1), в г/л:

цианистое серебро AgCN 2,0;

цианистый натрий NaCN 70;

углекислый натрий Na₂CO₃ 10.

Аналитические данные (пределы одновременно допустимого содержания):

серебро, в г/л 0,8...1,5;

свободный цианид в виде NaCN, в г/л 60...75;

углекислый натрий Na₂CO₃, в г/л до 60;

катодная плотность тока, в А/дм² 1...2,5;

анодная плотность тока, в А/дм² – любая, обычно равная катодной плотности тока;

температура раствора, в °С.....20...30;

продолжительности предварительного

серебрения, в с.....10...30;

аноды – нержавеющая сталь.

Этот электролит применяют для осаждения предварительного серебряного покрытия на никелированную или омедненную сталь или на медь и латунь. Для других целей этот электролит не используют.

Электролит для предварительного серебрения цветных металлов и для наращивания толщины серебряного покрытия по стали (электролит 2) применяется для осаждения предварительного серебряного покрытия на цветные металлы и для увеличения толщины серебряного покрытия, осажденного из электролита, для предварительного серебрения стали. Для других целей этот электролит не годится. Осажденные из этого электролита толстые серебряные покрытия имеют пониженное качество (они грубозернисты, кристаллические, матовые и шероховатые).

Состав и режим работы электролита 2:

цианистое серебро AgCN – 6 г/л;

цианистый натрий NaCN – 70 г/л;

углекислый натрий Na₂CO₃ – 10 г/л;

температура раствора – 18...30°С.

Продолжительность предварительного серебрения:

- для цветных металлов – 30...60 с;

- для стали (предварительно посеребренной) 30 с...2 мин.

Электролиты для декоративного и технического серебрения (состав, в г/л):

Компонент	А	Б	В
Цианистое серебро AgCN	10	30	50
Цианистый натрий NaCN	30	–	–
Цианистый калий KCN	–	70	90
Углекислый натрий Na ₂ CO ₃	10	–	–
Углекислый калий K ₂ CO ₃	–	10	10

Блескообразующие добавки:

аммиак.....2 мл/л,

серноватокислый натрий.....0,4 г/л.

В процессе работы состав электролита может сильно изменяться, поэтому при серебрении должен быть обеспечен надежный контроль концентраций его компонентов.

Состав электролита скоростного серебрения:

цианистое серебро AgCN, в г/л – 100;

цианистый калий KCN, в г/л – 100;
 углекислый калий K₂CO₃, в г/л – 25;
 едкое кали KOH, в г/л – 15;
 аммиак в мл/л, – 2;
 серноватокислый натрий Na₂S₂O₃, в г/л – 0,5;
 температура раствора – 40...55°C;
 плотность тока – 7 А/дм².

Электролит скоростного серебрения выгодно применять для осаждения толстых серебряных покрытий (до нескольких мк). Для декоративного серебрения этот электролит не применяют.

Цинкование относится к наиболее распространенным процессам электрохимической обработки поверхностей стальных изделий. Это объясняется прежде всего тем, что цинковое покрытие (особенно после дополнительной обработки, например хромированием, фосфатированием и т.п.) устойчиво против воздействия атмосферы и воды, а сам процесс цинкования относительно дешев и прост. Анодное защитное действие цинковых покрытий стали и черных металлов используется повсюду для тех деталей, которые подвергаются воздействиям атмосферы или воды. Однако анодный характер покрытий проявляется только при температуре воды примерно до 60 °С. При более высокой температуре потенциалы изменяются, и цинк становится по отношению к железу катодом. Поэтому для деталей, которые будут подвергаться воздействиям горячей воды (например, бойлеров), требуется, чтобы толщина цинкового покрытия была около 70 мк и чтобы оно не имело пор. Беспористость цинковых покрытий не является обязательным условием для тех деталей, которые подвергаются воздействию низкой или нормальной температуры или атмосферному воздействию.

Цинковые покрытия можно электролитически осаждать в основном из двух видов электролита:

- а) из растворов, в которых цинк находится преимущественно в виде гидратированного цинкового катиона $Zn^{2+} \cdot nH_2O$;
- б) из растворов, в которых цинк находится преимущественно в виде комплексного аниона.

К первой группе можно отнести кислые электролиты, вторую группу образуют комплексные цианистые и цинкатные электролиты, а также пирофосфатные. Наиболее важное значение имеют цианистые и кислые электролиты. Рецептура цианистых электролитов приведена в табл. 55.

Таблица 55

Рецептура цианистых электролитов

Рецептура, в %	Номер раствора			
	1	2	3	4
ZnO г/л	–	45	–	–
Zn(CN) ₂ г/л	60,5	–	80,0	80,0
NaCN	32,0	100,0	42,0	40,0
NaOH	85,0	38,0	78,0	56,0
Блескообразующая добавка	Глицерин	MoO ₃ MnSO ₄	Пиперонал	Пиперонал MoO ₃

Электролитическое золочение применяется главным образом в галантерейном и ювелирном деле. Для технических целей золотые покрытия применяют главным образом в электротехнической и оптической промышленности и в области точной механики и физических приборов.

Поскольку золото является драгоценным металлом, покрытия из него осаждаются небольшой толщины. На галантерейных изделиях толщина покрытия бывает от 0,025 до 1 мк, а для технических целей – от 0,1 до 20 мк. Для повышения антикоррозионной стойкости и увеличения срока службы позолоченных предметов их поверхность покрывают прозрачными лаками.

Способы предварительной обработки деталей перед золочением зависят от рода основного материала. Серебряные, никелевые, медные, латунные и томпаковые детали золотят непосредственно. На стальные, оловянные, цинковые, свинцовые и алюминиевые детали нужно перед золочением нанести подслоу другого металла (серебра, никеля, меди или латуни). Чаще всего таким подслоем является блестящее никелевое покрытие толщиной около 5 мк. Толщина золотого покрытия должна быть достаточной для того, чтобы скрыть цвет основного металла.

Золото и золотые сплавы осаждаются главным образом из цианистых электролитов. Электролит золочения лучше всего готовить из комплексного цианида одновалентного золота KAu(CN)₂ или путем растворения золота в цианистом калии с помощью диафрагмы. Ввиду высокой стоимости золота содержание его в электролите бывает от 1 до 5 г/л. Для технических целей применяют обычно электролиты с большим содержанием золота (до 12 г/л).

Количество свободного цианида в электролите строго не регламентировано и может быть от 3 до 15 г/л.

Наиболее эффективный состав электролита в г/л:

$\text{KAu}(\text{CN})_2$ – 4,

цианистый калий KCN – 15,

углекислый калий K_2CO_3 – 8.

Температура электролита 60...70°C. Оптимальная плотность тока находится в пределах от 0,1 до 1,5 А/дм², а напряжение на зажимах 2...3,5 В.

При плотности тока 0,3 А/дм² золотое покрытие толщиной 1 мк осаждается за 15-20 мин. Продолжительность золочения галантерейных изделий – от 1 до 5 мин.

Для декоративных целей (при толщине покрытия до 0,5 мк) достаточно продолжительность золочения в несколько секунд. При нанесении более толстого покрытия оставляют деталь в электролите до тех пор, пока покрытие не потемнеет. Затем деталь вынимают, промывают, крацуют латунной щеткой до тех пор, пока покрытие не станет блестящим, и снова загружают деталь в электролит для дальнейшего золочения. Так повторяют до 5 раз. После последней операции золотое покрытие полируют шелковым или фланелевым кругом.

Цвет золотого покрытия зависит главным образом от применяемой плотности тока и от содержания посторонних ионов в электролите. Вообще при плотности тока меньше оптимальной осаждаются светло-желтые покрытия, а при большей плотности тока осаждаются покрытия с красноватым оттенком.

При гальваническом золочении различают четыре основных цвета покрытия: желтый, белый, зеленый, красный.

Золотые покрытия с желтым оттенком получают из электролита, указанного выше.

Покрытия другого оттенка, состоящие из сплавов золота с другими металлами, получают из электролитов, содержащих соли никеля, серебра, меди или цинка. Медь изменяет цвет золота в розовый или красный в зависимости от количества меди в электролите, серебро и кадмий придают золотому покрытию зеленоватый оттенок, а никель и цинк – белый цвет. Железо не имеет большого влияния на цвет золотого покрытия. Свинец вызывает осаждение черного покрытия, имеющего плохое сцепление с основной поверхностью.

При осаждении золотых покрытий толщиной более 10 мк применяют хлористые электролиты. Золото находится в электролите в виде золотохлористоводородной кислоты $\text{AuCl}_3 \cdot \text{HCl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, приготовляемой растворением хлорного золота в соляной кислоте. Избыток кислоты или хлористые соли способствуют равномерному растворению золотых анодов и улучшают электрическую проводимость электролита. Количество золота бывает приблизительно от 16 до 30 г/л, концентрация соляной кислоты (удельный вес 1,18) – от 90 до 150 г/л. Электролит работает при комнатной температуре с плотностью тока 0,5 А/дм² при 2...3 В. При более высокой температуре можно увеличить плотность тока. Выход по току обычно большой, а рассеивающая способность электролита плохая, намного хуже, чем в цианистых электролитах.

Электролитом золочения можно пользоваться до тех пор, пока золото в нем полностью не истощится, что скажется в более интенсивном выделении водорода на катоде.

11.4. Термическая и химико-термическая обработка металлов

Основными видами термической обработки являются: отжиг, нормализация, закалка, отпуск и обработка холодом. При термической обработке стали происходят структурные изменения материала в соответствии с диаграммой железо-цементит (рис. 39).

Исходя из требований, предъявляемых к стали, можно применять ту или иную операцию термической обработки. Однако при одной и той же операции термической обработки, изменяя ее параметры, т.е. температуру нагрева, выдержку и скорость охлаждения, можно получить свойства в достаточно широких пределах для одной и той же стали. В табл. 56 приведена классификация операций термической обработки в соответствии с диаграммой состояния Fe-Fe₃C (рис. 39) и назначение этих операций.

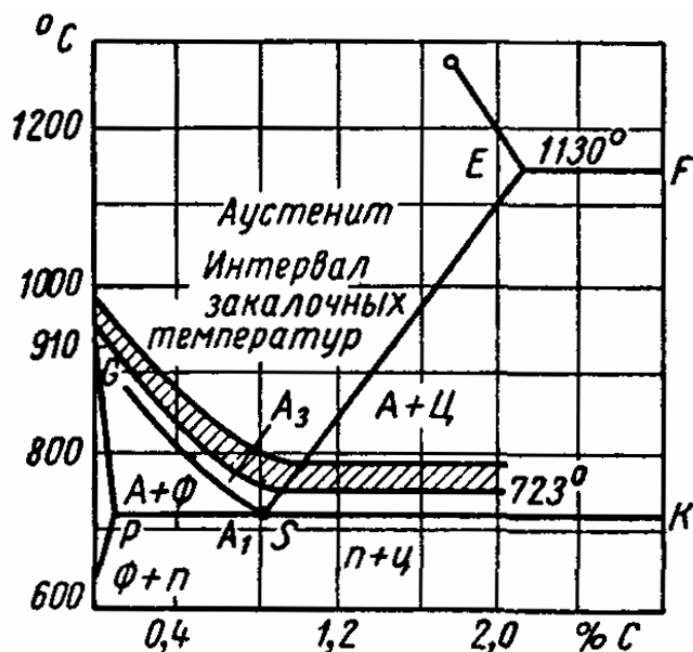


Рис. 39. Оптимальный интервал закалочных температур углеродистой стали

Для увеличения прокаливаемости в практике термической обработки иногда повышают температуру закалки или удлиняют выдержку. Однако это можно использовать только в том случае, когда не наступает сильного укрупнения зерна или увеличения количества остаточного аустенита.

Прокаливаемость – глубина проникновения закаленной зоны (расстояние от поверхностного слоя с мартенситной структурой до слоя с полумартенситной структурой – 50% мартенсита и 50% продуктов распада аустенита).

При сквозной закалке свойства по сечению закаленной стали однородны. При несквозной закалке свойства меняются от поверхности к центру. Отпуск несколько выравнивает свойства по сечению. Однако у слабопрокаливающейся стали на поверхности, где после закалки был мартенсит, будет зернистая структура, а в центре, где был перлит, сохранится пластинчатая структура. Поэтому на поверхности и в центре будет различие только тех свойств, которые зависят от формы структуры.

Скорость нагрева. Нагрев стали до заданной температуры желательно производить с максимальной скоростью. Это экономично, так как увеличивает производительность нагревательных средств, уменьшает количество печей и потребность в рабочей силе, уменьшает расход топлива. Однако большая скорость нагрева не всегда возможна.

Технически возможная скорость нагрева изделия определяется:

- способом нагрева (пламенная или электрическая печь, соляная, металлическая или масляная ванна, т.в.ч. и т.д.);
- максимальной температурой нагрева – до более высокой температуры изделие нагревается быстрее, чем до более низкой;
- формой изделия: чем больше поверхность, тем скорее происходит нагрев;
- весом одновременно нагреваемого металла и расположением изделий в печи;
- некоторыми физическими свойствами нагреваемых изделий: теплопроводностью, теплоемкостью и температуропроводностью.

При нагреве слитков под ковку и штамповку в зависимости от химического состава сталь подразделяют на три группы (табл. 57), для каждой из которых назначается свой режим нагрева.

Таблица 57

Распределение стали по группам в зависимости от химического состава

Группа	Марки стали
I	Ст. 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ст. 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 35Н, 40Н, 15ХМ, 15Х, 20Х, 30Х, 35Х, 15М
II	60ХГ, 25ХГС, 30ХГС, 50Г, 65Г, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2, 22ГНМ, 35ХМ, 45ХФ, 40Х, 45Х, 55Х, 12ХН2А, 12ХН3А, 15ГН4М, 40ХН, 50ХН, 60ХН, 50, 55
III	35ХНМ, 34ХН3М, 38ХГН, 35ХНВ, 18Х2Н4(ВМ), 9Х, 9ХФ, 90ХМФ, 90ХМБ, 40ХНМА, 40ХНЗГСМ, 13Г2ХНФ, 38ХМЮА, 55С2, 60С2, 30ХГВТ, 30Х2ГМТ

Окончание табл. 57

Не включенные в таблицу марки стали могут быть отнесены к той или иной группе по аналогии.

Для ускорения нагрева рекомендуется повысить температуру печи при посадке холодных слитков:

- из стали I группы, весом до 5 т – до 1200°C,
- из стали II группы, весом до 3 т – до 1050°C,
- из стали III группы, весом до 3 т – до 900°C,
- и исключить выдержку слитков в печи при температуре посадки.

Промежуточную выдержку в начальном периоде нагрева нужно производить при 700...750°C – исходя из условия уменьшения максимальной температурной разности по сечению слитка. Во втором периоде нагрев производить с максимально возможной скоростью.

Рекомендуется также не ограничивать температуру печи при посадке горячих слитков, а нагрев до ковочной температуры производить с максимально возможной скоростью. Время выдержки при ковочной температуре должно составлять 1...1,5 ч.

При охлаждении поковок и штампованных заготовок в последних из-за различия в скоростях охлаждения наружных и внутренних слоев возникают термические напряжения, которые тем выше, чем больше скорость охлаждения. Кроме термических при охлаждении возникают и структурные напряжения, связанные с фазовыми превращениями. При медленном охлаждении перепад температур между внутренними и внешними слоями уменьшается, что способствует более равномерному протеканию фазовых превращений в стали по всему объему поковки.

При больших скоростях охлаждения суммарная величина термических напряжений и напряжений от фазовых превращений может превысить прочность стали и быть причиной образования наружных и внутренних макро- и микротрещин в поковке. Выбор рациональных режимов охлаждения поковок и штампованных заготовок обеспечивает соответствующее качество последних.

В кузнечно-прессовых и штамповочных цехах применяют следующие способы охлаждения поковок: на воздухе, в малотеплопроводных материалах, в сборниках и неотапливаемых колодцах, в подогреваемых колодцах и печах. Скорость и интенсивность охлаждения стали на воздухе приведены в табл. 58. Часто замедленное охлаждение поковок проводят в какой-либо теплоизолирующей среде или по специальным режимам.

Таблица 58

Скорость и интенсивность охлаждения стали на воздухе

Интервал температур, в °C	Скорость охлаждения, в °C/мин				Коэффициент интенсивности охлаждения для заготовки любого профиля
	Ø 70 мм	Ø 80 мм	Ø 100 мм	Ø 120 мм	
900-800	16,7	15,2	14,5	13,55	1,0
800-700	12,42	11,25	10,7	10,00	0,741
700-600	9,61	8,3	7,85	7,38	0,543
600-500	6,68	6,0	5,68	5,37	0,391
500-400	4,78	4,28	4,06	3,75	0,279
400-300	3,3	3,0	2,87	2,67	0,196
300-200	2,3	2,1	2,00	1,85	0,136
200-100	1,5	1,43	1,36	1,2	0,093
100-50	1,0	0,95	0,95	0,8	0,063

Термическую обработку чугуна применяют для снятия внутренних напряжений и стабилизации размеров отливки, снижения твердости и улучшения обрабатываемости, исправления дефектов литья по отбелу, повышения механических свойств и износостойкости.

Классификация основных видов термической и химико-термической обработки отливок из серого чугуна приведена в табл. 59.

При термической обработке серого чугуна изменяется главным образом металлическая основа чугуна (матрица), графитная структура остается практически без изменения.

Низкотемпературный отжиг (искусственное старение) применяют для снижения в отливках внутренних остаточных напряжений, возникающих вследствие неодновременного перехода различных частей отливки из области пластических в область упругих деформаций.

Однако для снижения величины внутренних напряжений более эффективным является применение искусственного старения – медленный нагрев отливок и медленное охлаждение.

Для ковкого чугуна применяют *нормализацию, закалку и отпуск*. *Нормализация* (табл. 60) повышает прочность, твердость и износостойкость ковкого чугуна при некотором понижении его пластичности. Нормализация приводит к увеличению содержания в структуре перлита.

Таблица 60

Режим термической обработки ковкого чугуна

Вид термической обработки	Назначение	Температура нагрева, в °С	Время выдержки, в ч	Охлаждение
Нормализация	Повышение прочности и твердости	800...850	0,2...1,0 ч на 25 мм толщины отливки	На воздухе
Закалка	Повышение твердости и износостойкости	800...900	0,75...1,25 ч на 25 мм толщины отливки	В масле
Отпуск	Повышение сопротивления износу	450...600	1...5 ч в зависимости от толщины отливки и требуемых свойств	На воздухе
	Повышение механических свойств	500...700		

Закалка с последующим высоким отпуском является оправдавшим себя методом получения ковкого чугуна со структурой зернистого перлита. Максимальная твердость закаленного ферритного и ферритоперлитного ковкого чугуна достигается при нагреве под закалку до 850...900°С, выдержке в течение 60...120 мин и охлаждении в масле. Регулирование и получение требуемых механических и эксплуатационных свойств осуществляются за счет подбора температуры отпуска закаленного ковкого чугуна.

Алюминий и его сплавы для придания им определенных свойств также подвергаются закалке и старению (табл. 61, 62).

Таблица 61

Температура нагрева деформируемых алюминиевых сплавов перед закалкой

Марка сплава	Температура начала отсчета продолжительности нагрева, в °С	Допустимый интервал температуры закали, в °С
Листы		
Д16	490	495...505
Д19	495	505...515

Прессованные полуфабрикаты и плиты

Д16	490	495...503
Д19	495	495...503
Все виды полуфабрикатов		
Д1	490	495...510
АВ	505	510...530
АК2		510...520
АК4, АК4-1	520	525...540
АК6, АК6-1	500	505...525
АК8	490	495...505
ВД17		
Д20	525	530...540
Д21	515	520...530

Окончание табл. 61

Марка сплава	Температура начала отсчета продолжительности нагрева, в °С	Допустимый интервал температуры закали, в °С
В93	460	465...475
В95		
В96		465...473
Д6	495	497...503
Д23		
АД31	520	520...530
АД33		

Таблица 62

Режимы искусственного старения деформируемых алюминиевых сплавов

Марка сплава – вид старения *	Температура старения, в °С**	Продолжительность старения, в ч
Все виды полуфабрикатов		
Д1-ЕС	Комнатная	
Д6-ЕС		96
Д16-ЕС		
Д19-ЕС		120-240

Листы, прессованные полуфабрикаты

Д16-ИС	185...195	7...9
	185...195	6

Все виды полуфабрикатов

Д20-ИС	160...170	10...16
	200...220	12
Д23-ИС	170...180	16...12
Д21-ИС ВД17-ИС	180...190	16
	165...175	

Окончание табл. 62

Марка сплава – вид старения*	Температура старения, в °С**	Продолжительность старения, в ч
АВ0ЕС АК6-ЕС АК8-ЕС АВ-ИС	Комнатная	96
Прессованные прутки, штамповки, поковки		
АК2-ИС	150...170	4...15
	165...180	6...16
Все виды полуфабрикатов		
АК6-ИС АК6-1-ИС АК8-ИС АК4 АК4-1-ИС	150...165	6...15 4...15
	165...180 185...195	10...16 8...12
Листы		
В95-ИС	120...125	24
Прессованные полуфабрикаты, штамповки		
В95-ИС В95-1-ИС	135...145	16
Все виды полуфабрикатов		
В96-ИС	95...105	4...5
	155...160	8...9
В93	115...125	3

160...170	4
-----------	---

* ЕС – естественное старение; ИС – искусственное старение.

** Числитель – 1-я ступень (режим) старения; знаменатель – 2-я ступень (режим) старения.

В зависимости от содержания компонентов, входящих в состав алюминиевого сплава (Mg, Cu, Ni, Zn и др.), применяют тот или иной режим термообработки.

Для термической обработки рекомендуют применять следующие режимы:

Т4 – нагрев под закалку при $535 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 2...6 ч, охлаждение в воде с температурой 20...100°C. Применяется для деталей, от которых требуется повышенная пластичность;

Т5 – режим закалки тот же + искусственное старение при $150 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 1...3 ч. Применяется для деталей, от которых требуются повышенные значение предела текучести и твердости;

Т6 – режим закалки тот же + искусственное старение при $200 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 2...5 ч. Применяется для деталей, от которых требуется повышенная прочность;

Т7 – режим закалки тот же + искусственное старение при $225 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 3...5 ч. Применяется для деталей, от которых требуется достаточная прочность и сравнительно высокая стабильность геометрических размеров;

Т8 – режим закалки тот же + отжиг при $250 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 3...5 ч.

Процессы химико-термической обработки осуществляются посредством нагрева, выдержки и охлаждения деталей из стали или сплавов в активных насыщающих средах (твердых, жидких, газообразных) при определенных температурных и временных условиях с последующей термической обработкой или без нее.

Результаты всякого процесса химико-термической обработки определяются составом активной насыщающей среды, температурой и временем выдержки, а также условиями последующей термической обработки.

Химико-термическая обработка деталей применяется в промышленности в большинстве случаев с целью повышения свойств: поверхностной твердости, износостойкости, эрозионной стойкости, задиристости, контактной выносливости и изгибной усталостной прочности (процессы – цементация, азотирование, нитроцементация и др.). Для резкого повышения со-

противления абразивному изнашиванию перспективны процессы: борирование, диффузионное хромирование и другие, позволяющие получить в поверхностном слое бориды железа, карбиды хрома или другие химические соединения металлов, отличающиеся высокой твердостью. В других случаях целью химико-термической обработки является защита поверхности деталей от коррозии при комнатной и повышенной температурах в различных агрессивных средах или окалинообразования (процессы – алитирование, силицирование, хромирование и др.).

Цементация. Процесс осуществляется обычно в интервале температур 860...960°C. Длительность выдержки в зависимости от состава цементуемой стали, способа цементации и требуемой глубины слоя, которая колеблется в пределах от 0,15 до 2,5 мм, составляет от 1 до 30 ч. В редких случаях, например газовой цементации крупных подшипниковых колец, глубина слоя может достигать 8 мм, длительность выдержки 7-9 суток.

Особым случаем применения цементации является сквозная цементация тонких штампованных деталей из низкоуглеродистой стали (например, деталей пишущих машин, роликовых цепей и т.п.).

Для цементации применяют низкоуглеродистую легированную и легированную сталь с содержанием углерода 0,08...0,30% (табл. 63). К цементуемой качественной стали предъявляются требования по чистоте металла, структуре, механическим свойствам, закаливанию цементованного слоя, обрабатываемости резанием и др.

При выборе кремнийсодержащих сталей, обладающих повышенной износостойкостью, теплостойкостью и ударной усталостной прочностью, необходимо учитывать некоторые их недостатки в отношении склонности к обезуглероживанию при последующей термической обработке и в ряде случаев – неудовлетворительную закаливаемость цементованного слоя, а также предрасположение к образованию шлифовочных трещин.

Таблица 63

**Свойства и область применения
цементируемой стали различных марок**

Группа и марки стали	Свойства после закалки и низкотемператур- ного отпуска		Область применения
	слоя	сердцевины	
1. Углеродистая сталь с содержани-	HRC 60...64	$\sigma_B=50...85 \text{ кг/мм}^2$ $\sigma_T=30...65 \text{ кг/мм}^2$	Для малонагру- женных деталей,

ем 0,05...0,25% С
марок: Ст.2, Ст.3,
Ст.5, 08, 08кп, 10,
10кп, 15, 20, Авт.
12, Авт 15, Авт 15Г
и Авт.20

$a_H \geq 5,5 \text{ кг·м/см}^2$

работающих в ос-
новном на износ:
поршневые пальцы,
вилки тяг, кулачко-
вые валы, ключи,
червяки, шестерни,
звездочки и др. с
максимальным ра-
бочим сечением
15...25 мм

2. Легированная
сталь средней
прочности с содер-
жанием
0,12...0,20% С, ма-
рок: 15Х, 20Х,
15ХФ, 15ХМ,
20ХФ, 20ХГ,
12ХН2, 15ХР,
18ХГТ, 20ХН

HRC
58...62

$\sigma_B=75...90 \text{ кг/мм}^2$
 $\sigma_T=60...75 \text{ кг/мм}^2$
 $a_H \geq 5,0 \text{ кг·м/см}^2$

Для тех же, но
более нагруженных
деталей с макси-
мальным рабочим
сечением 35 мм

3. Легированная
сталь повышенной
прочности с содер-
жанием 0,12 ...
0,20% С, марок:
18ХМА, 12ХН3А,
12Х2Н4А, 15Х2ГН2
ТА, 20ХГР,
18ХСНРА,
15ХГНТА,
15Х2ГН2ТРА

HRC
57...61*

$\sigma_B=110...130 \text{ кг/мм}^2$
 $\sigma_T=85...110 \text{ кг/мм}^2$
 $a_H \geq 5,0 \text{ кг·м/см}^2$

Ответственные
нагруженные шес-
терни разного моду-
ля, испытывающие в
работе резкие уда-
ры, с максимальным
рабочим сечением
50...75 мм (18ХМА,
20ХГР – 40...60 мм)

Окончание табл. 62

Группа и марки стали	Свойства после закалки и низкотемператур- ного отпуска		Область применения
	слоя	сердцевины	
4. Легированная сталь высокой прочности с содер- жанием	HRC 57...61	$\sigma_B=120...150 \text{ кг/мм}^2$ $\sigma_T=95...135 \text{ кг/мм}^2$ $a_H \geq 5,0 \text{ кг·м/см}^2$	Особо ответст- венные шестерни средних и крупных модулей для тяже-

0,12...0,30% С марок: 25ХГТ, 30ХГТ, 18Х2Н4ВА, 20Х2Н4А, 25Х2ГНТА, 20ХГНР, 20ХН3А, 20ХГВТ, 20ХГСВТ, 20ХГН			лых условий работы с максимальным рабочим сечением 100...120 мм (25ХГТ, 30ХГТ, 20ХГВТ, 20ХГСВТ, 20ХГН 60...80 мм)
5. Высокохромистая нержавеющая сталь марок 1Х13, 2Х13, Х17Н12 и др.	HRC 60...64	—	Для деталей коррозионностойких в воде и в керосине, а также работающих на износ (пресс-формы и др.)

* Твердость сердцевины для шестерен из легированной стали обычно составляет HRC 35...45.

Концентрация углерода в цементованном слое для получения оптимальных свойств прочности должна находиться в определенных пределах в зависимости от марки легированной стали (обычно 0,8...1,0%).

Азотирование осуществляется обычно в атмосфере продуктов частичной диссоциации аммиака в интервале температур 500...580°C. Длительность выдержки в зависимости от типа стали и требуемой глубины слоя обычно составляет 20...100 ч.

Азотирование применяют как с целью поверхностного упрочнения (повышение твердости, износостойкости, сопротивления задиранью, усталостной прочности и эрозионной стойкости), так и с целью антикоррозионной защиты. Большая эффективность применения азотирования по сравнению с цементацией обусловлена более высокой износостойкостью, теплостойкостью и коррозионной стойкостью азотированных сталей и чугунов. В то же время азотированный слой характеризуется относительно большой хрупкостью. Технологические преимущества азотирования, связанные с низкой температурой процесса, заключаются в незначительном короблении деталей или практически полном его отсутствии.

Нитроцементация и цианирование предусматривают одновременное насыщение стали углеродом и азотом (нитроцементация – из газовой среды, цианирование – из расплавов цианистых солей). Основные преимущества нитроцементации и цианирования (кроме большей скорости насыще-

ния) состоят в возможности получения более износостойкого и теплостойкого слоя благодаря наличию в нем азота, меньшему росту зерна и меньшей деформации деталей. Нитроцементация и цианирование осуществляются при температурах 540...600°C (низкотемпературная) и 840...950°C (высокотемпературная), время выдержки 0,5...3 ч.

Алитирование применяют для повышения стойкости деталей против газовой коррозии в водяном паре, на воздухе, в сероводороде и в топочных газах при повышенных и высоких температурах. Алитированию подвергают малоуглеродистую нелегированную сталь и сплавы, включая жаропрочные сплавы на никелевой основе, а также серый, кремнистый и магниевый чугуны. Применяют три способа алитирования: в твердой среде (порошковых смесях), в расплаве, напылением расплавленного алюминия.

Порошковые смеси для насыщения сталей и чугунов алюминием содержат от 30 до 90% порошка железоалюминиевого сплава, нелегированного или легированного небольшим количеством других элементов (окиси алюминия, 1-2% хлористого аммония). Процесс насыщения алюминием проводят при температуре 750...1050°C в течение 1...20 ч. Глубина алитированного слоя составляет 0,02...0,7 мм с содержанием алюминия на поверхности слоя 15...65%.

Алитирование в расплаве алюминия (с небольшими добавками кремния) осуществляется погружением деталей в ванну при температурах 720...850°C с выдержкой времени 25...45 мин. Затем детали подвергают диффузионному отжигу при 950°C в течение 1...2 ч. Глубина диффузионного слоя составляет 0,3...0,5 мм.

Алитирование методом напыления расплавленного алюминия (металлизации) также предполагает применение диффузионного отжига после металлизации. Глубина алитированного слоя составляет 0,5...0,8 мм.

Следует отметить, что наличие легирующих элементов в сталях и чугунах уменьшает глубину алитированного слоя.

Диффузионное хромирование направлено на повышение твердости, коррозионной стойкости при температуре 800...1300°C порошками, в состав смеси которых входят: Cr или FeCr, 1...3% NH₄Cl или NH₄I, остальное – Al₂O₃. Перед хромированием детали подвергаются шлифовке, кроме того, возможна предварительная цементация. При изготовлении штампового инструмента после хромирования производится притирка деталей

(реже шлифовка). Увеличение размеров при хромировании составляет 0,01...0,03 мм на сторону.

Борирование осуществляется при температуре 920...950°C в жидких средах (электролизное и в расплаве буры с карбидом бора), а также в газообразных средах и твердых смесях с целью повышения твердости и износостойкости. Борированные детали (штуки буровых грязевых насосов, струйных сопел, звеньев цепей пил и др.) подвергаются объемной и поверхностной закалке токами высокой частоты. Время борирования составляет: в жидких средах и газах – 2...20 ч, в порошках – 6 ч. Глубина борируемого слоя составляет 0,2 мм.

Сульфацирование направлено на улучшение антифрикционных свойств и повышение усталостной прочности стали (обработка поршневых колец, гильз цилиндров, чугунных втулок, зубчатых и червячных колес и др.). Сульфацирование осуществляют при температуре 560...580°C в течение 1,5...2 ч. За это время в зависимости от марки стали и состава ванны получают обогащенный серой, азотом и углеродом слой глубиной 0,05...0,1 мм. По окончании процесса детали охлаждают на воздухе, промывают в горячей воде, сушат, промасливают.

Силицирование применяется для деталей химического и нефтяного машиностроения с целью повышения их коррозионной стойкости при работе в морской воде, серной, соляной, азотной кислотах различной концентрации и других агрессивных средах. Силицирование осуществляется при температуре 950...1000°C в газовых и жидких средах, а также в вакууме и порошкообразных смесях в течение 10...50 ч. Силицирование отрицательно влияет на механические свойства стали: оно понижает предел прочности и особенно относительное удлинение и ударную вязкость.

Титанирование осуществляется в интервале температур 950...1300°C в твердых смесях, жидких и газообразных средах с целью получения поверхностных слоев, стойких в различных агрессивных средах, и для повышения сопротивления эрозии. Титанированные железные листы обладают высокой стойкостью против коррозии и хорошо свариваются. Титанирование используют для защиты деталей насосов, работающих в морской воде. Продолжительность титанирования составляет 0,25...6 ч, глубина слоя составляет 0,02...0,45 мм, а при обработке ферротитановым порошком – до 1,5 мм.

Глава 12. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Постоянно растущие требования к качеству, надежности и долговечности изделий делают актуальными создание и применение новых методов обработки упрочняющей технологии для повышения износостойкости, коррозионной стойкости, жаропрочности и других эксплуатационных характеристик.

Физико-механические методы имеют следующие достоинства и преимущества перед процессами резания:

- 1) копирование формы инструмента сложной формы сразу по всей поверхности заготовки при его простом поступательном движении;
- 2) обработка материалов ведется при практической независимости режимов обработки от твердости и вязкости материала;
- 3) выполнение уникальных операций (обработка отверстий с криволинейной или спиральной осью, изготовление очень малых отверстий, узких и глубоких канавок и др.);
- 4) малые значения сил, действующих в процессе обработки, а при некоторых методах – отсутствие механического контакта инструмента и заготовки;
- 5) используется инструмент менее твердый и менее прочный, чем обрабатываемый материал;
- 6) высокая производительность обработки при сравнительно высокой точности получения размеров;
- 7) возможность автоматизации и механизации процессов физико-химической обработки, а также многостаночного обслуживания.

Недостаток физико-химических методов: эти методы обычно более энергоемки, чем процесс резания, их целесообразно применять лишь в тех случаях, когда процессы резания малоэффективны.

Все физико-химические методы содержат пять основных видов, каждый из которых состоит из нескольких разновидностей (рис. 40): электроэрозионные; электрохимические; ультразвуковые; лучевые; комбинированные.

В этих методах удаление припуска происходит не за счет больших пластических деформаций (как это имеет место при резании), а путем электрической или химической эрозии.

Применение физико-химических методов обеспечивает частичную или полную автоматизацию процессов, упрощение ручных операций, связан-

ных с обслуживанием станка. Особенно эффективны они при изготовлении таких изделий, как штампы, пресс-формы, турбинные лопатки, камеры сгорания, фасонный твердосплавный инструмент, электронная аппаратура и др.

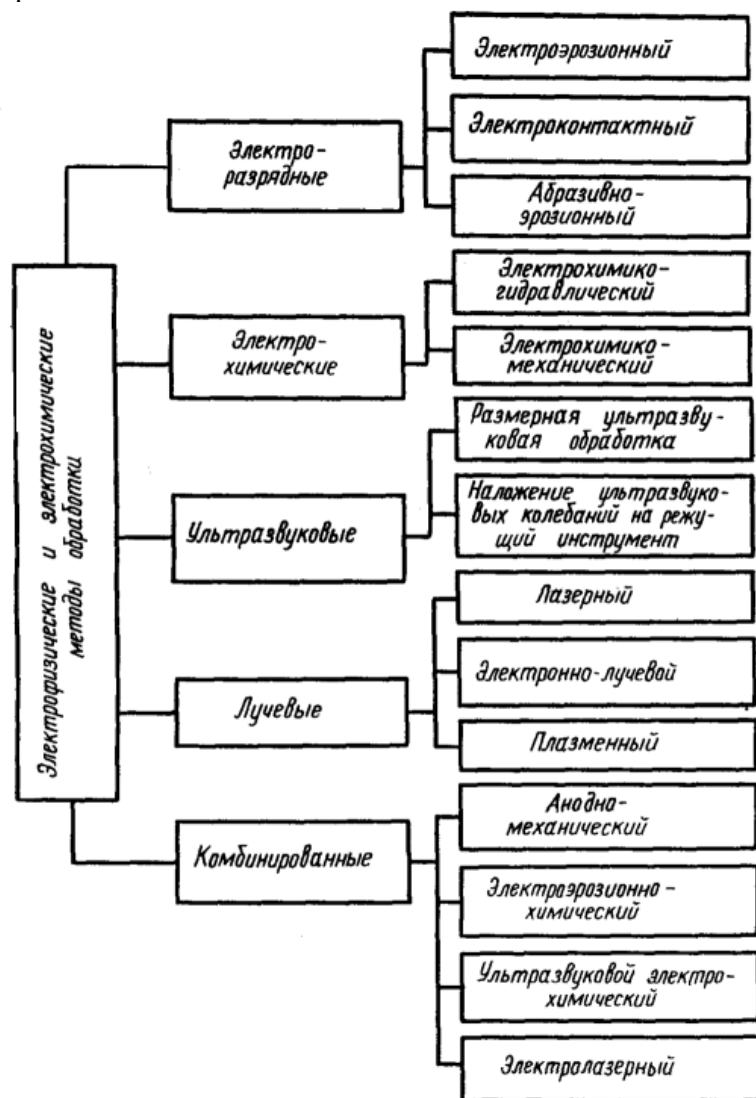


Рис. 40. Основные разновидности физико-химических методов обработки

Технико-экономический эффект их применения тем выше, чем сложнее конфигурация обрабатываемых деталей: время изготовления обычных фасонных поверхностей снижается в 2-3 раза, сложных – в 5-10 раз.

В табл. 64 приведены основные особенности рабочих процессов физико-химических методов и процессов резания.

12.1. Электроэрозионные (электро-разрядные) методы обработки

Электроэрозионные методы основаны на использовании явления электрической эрозии – направленного локального разрушения электропроводящих материалов в результате теплового действия импульсных электрических разрядов между электродом-инструментом и электродом-заготовкой. Электрод-инструмент 1 (рис. 41) и обрабатываемая заготовка 2 погружены в рабочую жидкость и соединены с генератором электрических импульсов 3. Все процессы, вызывающие обработку, протекают в межэлектродном промежутке (МЭП) Δ . При подводе к электродам электрического импульса наибольшая электрическая напряженность будет между наиболее близкими микровыступами: происходит пробой промежутка, возникают проводимость и импульсный разряд, сопровождающийся очень высокой температурой (до 10^4 °C), вызывающей плавление и испарение металлов. Количество теплоты, выделяющейся на электродах, неодинаково и зависит от их полярности и энергии импульсов. Заготовку 2 соединяют с тем полюсом, на котором выделяется большая доля теплоты. В процессе обработки электрод-инструмент 1 перемещается и с помощью специального регулятора 4 поддерживается постоянная величина МЭП ($\Delta=5\ldots 10$ мкм). Рабочий процесс протекает в жидкой диэлектрической среде (керосин, масло, дистиллированная вода).

Рабочая жидкость при электроэрозионной обработке:

1) способствует диспергированию продуктов эрозии, образованию гранул шаровидной формы, препятствует осаждению продуктов эрозии одного электрода на другой;

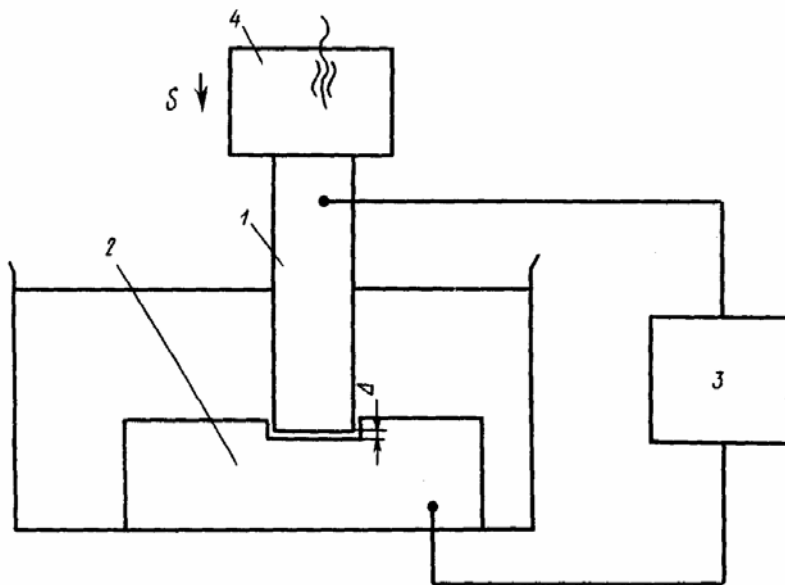


Рис. 41.

Принципиальная схема электроискровой (электроэрозионной) обработки (ЭЭО)

2) обеспечивает стабильное протекание процесса, удаляя продукты эрозии и очищая межэлектродный промежуток;

3) охлаждает электроды.

Рабочая жидкость должна иметь невысокую вязкость и безопасность в эксплуатации, химическую нейтральность к материалу инструмента и детали, нетоксичность и невысокую стоимость. Общий съем металла происходит под действием большого числа электроимпульсов, следующих с определенной частотой.

Величина электрической эрозии определяется химическим составом материалов электрода-инструмента и заготовки, составом рабочей жидкости, а также энергетическими характеристиками импульсов.

Процесс эрозии электродов содержит три основные фазы:

1) выделение энергии в канале разряда и передача ее поверхностям электродов;

2) разрушение решетки металла (плавление, испарение);

3) эвакуация продуктов эрозии из зоны разряда.

Обрабатываемость материалов электроэрозионным методом зависит от их теплофизических свойств и условий протекания процесса. Если обрабатываемость нормализованной стали принять за единицу, то для жаропрочных сплавов она равна 1,3...1,4, а для тугоплавких металлов и твердых сплавов лишь 0,4...0,5. Обрабатываемость закаленных сталей на 25...30% выше, чем незакаленных, из-за их меньшей теплопроводности.

Применяются несколько кинематических схем ЭЭО.

1. Прошивание отверстий и полостей с прямой и криволинейной осью – в двух вариантах: а) прямое копирование, когда электрод-инструмент находится над заготовкой; обработка бывает одно- и многоэлектродная; б) обратное копирование с расположением заготовки над электродом-инструментом (ЭИ). Движение подачи здесь может осуществляться заготовкой, при этом улучшаются условия эвакуации продуктов эрозии и повышается точность обработки.

2. Электроэрозионное шлифование, наиболее эффективное при обработке внутренних фасонных поверхностей.

3. Обработка непрофилированным электродом 3 – движущейся тонкой проволокой ($d = 0,05 \dots 0,3$ мм) – обычно по двум координатам (рис. 42). Эта схема позволяет вырезать сложноконтурные детали высокой точности при использовании коротких импульсов с малой энергией. Проволока получает непрерывное движение посредством роликового механизма 1, 2, 6. Обрабатываемая деталь 4 получает поперечную и продольную подачи (или по криволинейной траектории).

4. Формообразование путем сочетания взаимного перемещения обрабатываемой детали 1 (рис. 43) и профилированного ЭИ 2 (огибание или обкатка). Такая схема используется при электроэрозионной правке фасонных алмазных кругов, обработке узких канавок (менее 0,5 мм) на стальных и твердосплавных роликах.

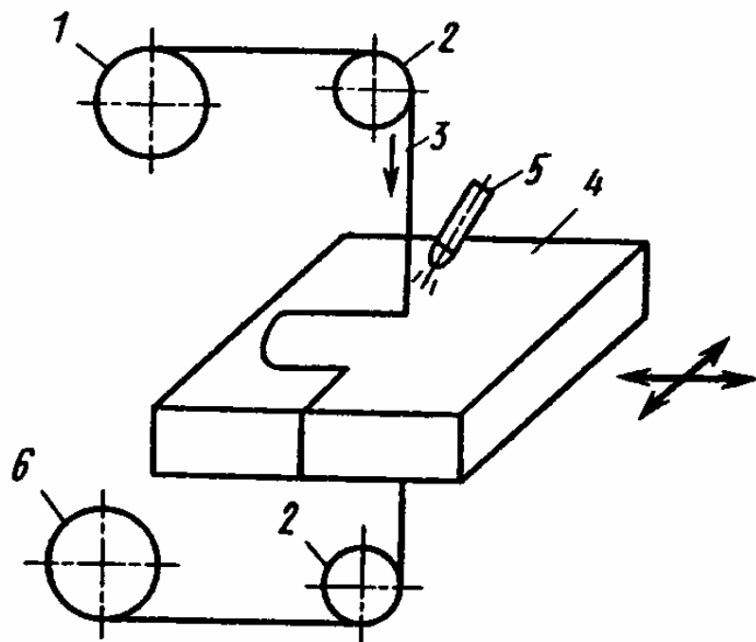


Рис. 42. Схема обработки непрофилированным электродом-инструментом (проволокой):
1 – катушка с проволокой; 2 – направляющие ролики;
3 – проволока; 4 – обрабатываемая деталь;
5 – подача рабочей жидкости; 6 – катушка

Электроэрозионный метод позволяет обрабатывать отверстия с криволинейными осями, тонкостенные детали, узкие каналы, соединительные отверстия в корпусах гидро- и пневмоаппаратуры. Преимущество этих методов – отсутствие заусенцев.

Все станки для физико-химической обработки так же, как и обычные металлорежущие станки, делятся на универсальные, специализированные и специальные. Виды электроэрозионных станков, получивших наибольшее применение:

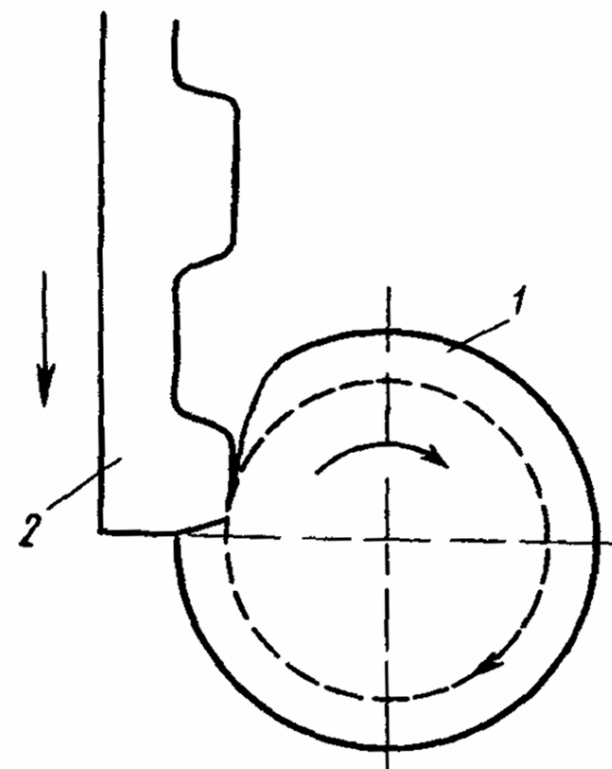


Рис. 43. Схема электроэрозионного формообразования методом обкатки

1) универсальные прошивочные станки, работающие по схемам прямого и обратного копирования (мод. 4Г721М, 4Д721АФЗ, 4Д722АФЗ, 4П724ФЗМ);

2) универсальные вырезные станки (мод. 4531ФЗ, 4532ФЗ, 4535ФЗ);

3) универсальные станки для удаления сломанного инструмента и шпилек (мод. 4Б611);

4) специализированные многопозиционные станки для перфорации лопаток ГТД, обработки роторов ТНА, форсунок и др.;

5) специализированные обкатные станки для обработки кольцевых и винтовых ручьев переменного сечения (МА4730А, МА4727);

6) станки для электроконтактной обработки (МЭ301).

Наиболее широкое применение получили универсальные прошивочные и вырезные станки.

12.2. Электрохимические методы обработки (ЭХО)

Общие сведения. Все разновидности ЭХО основаны на использовании процесса электролитического полирования, разработанного в 1911 г. русским химиком Е.И. Шпитальским. Электрохимическая обработка использует процессы электролиза, т.е. химические превращения на поверхности электродов в среде электролита. Заготовка является анодом, а инструмент – катодом.

В основе ЭХО лежит процесс анодного растворения металла заготовки. В рабочей среде – электролите – молекулы вещества распадаются на электрически заряженные частицы – ионы, каждый из которых переносит один или несколько электрических зарядов, и без внешнего электрического поля ионы в электролите движутся хаотически. Если заготовку и инструмент соединить с источником постоянного тока (напряжением 6...12 В), то в электролите возникает направленное движение ионов: положительные ионы (катионы) двигаются к катоду, а отрицательные (анионы) – к аноду. Вблизи электродов постепенно повышается концентрация ионов противоположного знака, и на катоде начнется восстановление катионов, а на аноде – окисление металла, т.е. анодное растворение.

Характер электрохимических реакций зависит от состава, концентрации и температуры электролита. Наиболее распространенным электролитом при обработке сталей и жаропрочных сплавов является 10...20%-ный водный раствор NaCl. Применяются и 5...15%-ные водные растворы азотнокислого натрия (Na_2NO_3) при обработке жаропрочных сплавов, алюминиевых и медных сплавов. Хорошие результаты при ЭХО аустенитных сталей дает раствор сернокислого натрия, а при обработке вольфрама, молибдена, ниобия и тантала – растворы щелочей. Известны также более сложные системы, содержащие лимонную кислоту, бром, фтор и другие компоненты.

Для обеспечения стабильности процесса необходимо поддерживать в определенных пределах величину водородного показателя pH. При pH=7 раствор химически нейтрален; при pH<7 он обладает кислотными свойствами, при pH>7 – щелочными.

В настоящее время применяется большое количество разновидностей ЭХО. Обработка при малых плотностях тока и в неподвижном электролите называется электрополированием. Схема электрополирования простая: обрабатываемую деталь помещают в электролит и соединяют с положительным полюсом источника постоянного тока. Катодом служит пластина из металла, не вступающего в химическую реакцию с электролитом. При прохождении тока наиболее интенсивно растворяются вершины микронеровностей, появляется блеск и достигается эффект полирования.

Электрополирование используют перед проведением гальванических процессов, для снятия тонких слоев металла при изучении остаточных напряжений, для удаления наклепанного слоя после процессов резания и др. Наряду с электрополированием применяется и чисто химический процесс – размерное травление («химическое фрезерование»), сплошное и избирательное. При избирательном травлении места, не подлежащие обработке, защищают слоем лака. Травление ведется в водных растворах щелочей и кислот. Глубина травления не превышает нескольких миллиметров, а производительность – невысокая (0,4...1,2 мм/ч). Этот процесс наиболее эффективен при обработке рельефных поверхностей на деталях из алюминиевых сплавов, а также сталей и титановых сплавов с большими площадями: вафельных панелей, створок, обшивок гондолы двигателя и др. По сравнению с процессами резания трудоемкость снижается в 2-3 раза.

Электрополирование характеризуется невысокой интенсивностью съема металла из-за низкой плотности тока на аноде (i менее 0,1 А/см²) и постепенным замедлением процесса вследствие пассивации анода неэлектропроводными частицами гидроксидов металла.

Различают следующие разновидности ЭХО.

1. Анодно-гидравлическая обработка ведется в условиях интенсивного проточного движения электролита и малого зазора между электродами ($\Delta < 0,5...1$ мм).

2. Анодно-механическая обработка, при которой продукты анодного растворения удаляются за счет механического воздействия вращающегося диска или движущейся ленты. Применяется в заготовительных цехах для разрезки заготовок из труднообрабатываемых металлов.

3. Электроабразивная (электроалмазная) обработка ведется абразивным или алмазным кругом на металлической связке. Применяется в инструментальных цехах для изготовления фасонного инструмента.

Наиболее широкое развитие получила первая разновидность – ЭХО в поточном электролите. Она используется при выполнении следующих работ:

- 1) при неподвижных электродах: а) калибрование; б) контурная обработка; в) удаление заусенцев; г) скругление кромок; д) маркировка;
- 2) при поступательном перемещении электрода: а) копирование; б) прошивка отверстий; в) протягивание; г) калибрование; д) острение;
- 3) при вращении катода: а) обработка плоских и фасонных поверхностей; б) отрезка; в) кольцевая вырезка;
- 4) при вращении анода: а) обработка фасонных поверхностей (наружных и внутренних); б) обработка канавок (прямых и спиральных); в) отрезка;
- 5) при сложном движении электрода: а) вырезка проволокой (стерженьем); б) вырезка трубчато-контурным методом.

Наибольшее промышленное применение в настоящее время получили процессы копирования фасонных поверхностей и прошивки глухих и сквозных отверстий различного профиля, калибрование шлицевых отверстий после термообработки, удаление заусенцев, в которых используется ЭХО в поточном электролите. Точность обработки составляет 0,2...0,3 мм.

12.3. Ультразвуковые методы механической обработки

Ультразвуковые методы обработки основаны на использовании энергии ультразвуковых колебаний частотой $f=18...44$ кГц и интенсивностью 10 Вт/см^2 . Источником ультразвука служат пьезокерамические или магнетострикционные преобразователи, возбуждаемые от ультразвукового генератора.

Разновидности ультразвуковой обработки (рис. 44): а – обработка незакрепленным абразивом для снятия мелких заусенцев (менее 0,1 мм) и шлифования мелких деталей (массой менее 10...20 г); б – размерная обработка деталей из твердых хрупких материалов абразивной суспензией; в – очистка и смазка рабочей поверхности круга в процессе чистового шлифования вязких материалов; г – сообщение вынужденных ультразвуковых колебаний малой амплитуды режущим инструментом (лезвийным и абразивным) для интенсификации обычных процессов резания труднообрабатываемых материалов.

Перспективно также использование ультразвука для чистовой поверхностно-упрочняющей обработки деталей. Под действием ультразвука снижается сопротивление поверхностных слоев металла пластической деформации. Поэтому при малой статической силе удастся осуществлять значительную пластическую деформацию и вести обработку тонкостенных деталей и деталей с мягкими покрытиями.

При обработке по первой разновидности (рис. 44, а) детали помещают в абразивную суспензию и возбуждают в ней интенсивные ультразвуковые колебания. Под действием гидродинамических потоков абразивные зерна и детали из-за различной плотности двигаются с различными скоростями ($v_a=v_d$) и происходит снятие заусенцев. Этот процесс реализован в установках УЗВД-6 и УЗВД-8.

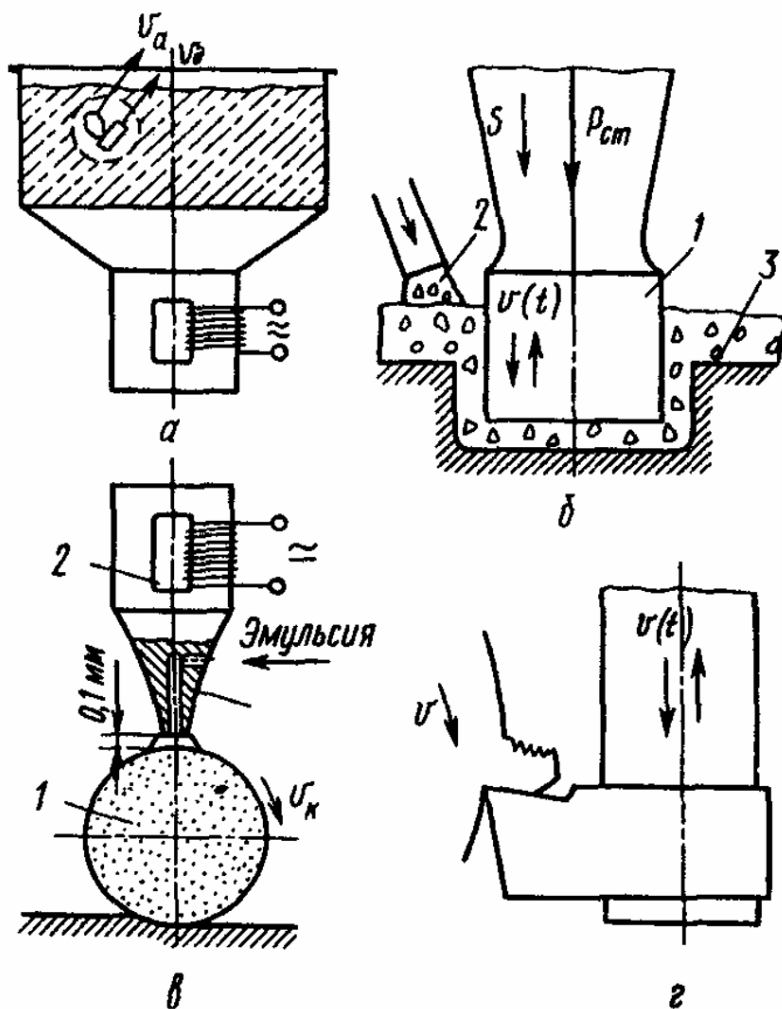


Рис. 44. Разновидности ультразвуковой обработки

Наиболее широкое применение получили вторая и четвертая разновидности. Инструмент 1 (рис. 44, б) совершает ультразвуковые колебания ($A=0,02...0,05$ мм) и воздействует на заготовку 3 с небольшой статической силой $P_{ст}$ ($P_{ст}=30...200$ Н). В рабочую зону подаются взвешенные абразивные зерна 2 (обычно карбиды бора), и наблюдается два основных процесса: 1) ударное вдавливание абразивных зерен, вызывающее выка-

лывание небольших частиц материала заготовки, и 2) циркуляция и смена абразива в рабочей зоне для уноса выколотых частиц и доставки свежего абразива. Размер выкалываемых частиц небольшой, однако количество ударов велико (18..44 кГц) и при определенных условиях обработка идет достаточно эффективно.

Главное движение – колебания инструмента. Скорость (м/с) главного движения $v=(4fA)/10^3$, где f – частота колебаний, Гц; A – амплитуда колебаний, мм. Подача может быть продольной ($S_{пр}$), поперечной ($S_{пн}$) и круговой ($S_{кр}$) – вращение инструмента или заготовки. В зависимости от вида подачи, а также формы инструмента можно осуществить различные кинематические схемы ультразвуковой обработки, аналогичные процессу электроэрозионной обработки.

Ультразвуковые установки и станки делятся на переносные установки небольшой мощности и стационарные ультразвуковые станки – универсальные и специальные. Универсальный ультразвуковой станок состоит из ультразвукового генератора, акустической головки с пьезокерамическим или магнитострикционным преобразователем, механизмов подачи головки, стола для закрепления заготовок, системы подвода абразивной суспензии, устройств для измерения глубины обработки и периодического подъема и опускания инструмента.

Производительность и качество поверхности зависят от свойств обрабатываемых материалов, амплитуды колебаний A , зернистости абразива и статической нагрузки P . Производительность процесса V пропорциональна квадрату критерия хрупкости t_x : $V=ct_x^2$ (t_x – отношение сопротивления сдвигу σ к сопротивлению на отрыв τ). Материалы, имеющие t_x более 2 (стекло, керамика, кремний, германий и т.д.), наиболее эффективно обрабатываются ультразвуковым методом. При увеличении амплитуды и частоты, а также зернистости абразива V возрастает. Существует оптимальное значение P , при котором величина V максимальна.

Этот метод применяют для формообразования наружных и внутренних поверхностей деталей из твердых хрупких материалов (керамика, сплавы, стекло, кварц, феррит и др.). Преимущество ультразвукового метода перед электроэрозионным и электрохимическим – возможность обработки диэлектрика, а при обработке тугоплавких металлов и твердых сплавов – более высокое качество поверхностного слоя. Для повышения производительности, особенно при обработке отверстий глубиной более 5 мм, применяют подвод абразивной суспензии под давлением или вакуум-

ный отсос ее из зоны обработки. Обработку глубоких отверстий малого диаметра ($D=3\ldots 8$ мм, h до 500 мм) целесообразно вести вращающимися алмазными коронками при сообщении инструменту ультразвуковых колебаний вдоль его оси.

Применение ультразвука для интенсификации обычных процессов резания труднообрабатываемых материалов путем сообщения вынужденных колебаний малой амплитуды ($A=3\ldots 10$ мкм) инструменту 1 (рис. 44, г) или заготовке наиболее эффективно при работе с малыми сечениями среза, например при нарезании резьбы метчиками. При сообщении метчику или раскатнику ультразвуковых колебаний снижается крутящий момент на (25...50%), улучшается качество обработанной поверхности и за счет уменьшения количества метчиков в комплекте в 1,5-3 раза повышается производительность процесса.

Ультразвуковое нарезание резьб малого диаметра (М3...М12) позволяет механизировать процесс, повысить стойкость инструмента, исключить брак, вызываемый поломками метчиков.

Перспективным направлением физико-химических методов является рациональное совмещение различных процессов, которое позволяет значительно интенсифицировать процесс обработки. Например, предложенный в МАИ способ, основанный на совмещении ультразвуковой и электрохимической обработки, позволил значительно повысить производительность процесса и улучшить качество поверхностного слоя. При обработке тугоплавких металлов и твердых сплавов совмещенный способ обеспечивает производительность, в десятки раз более высокую, чем электроэрозионный способ, и в 5-6 раз большую, чем ультразвуковой, позволяет в 5 раз снизить износ инструмента и в 3-5 раз уменьшить энергоемкость процесса. Появляется возможность заменить карбид бора значительно более дешевым абразивом – карбидом кремния. Установлено, что при ультразвуковой обработке твердых сплавов по сравнению с другими электрофизическими методами достигается более высокое качество поверхностного слоя: образуются сжимающие остаточные напряжения. Поэтому повышаются износостойкость и усталостная прочность твердосплавных штампов, матриц, пресс-форм, фильер и других деталей, обрабатываемых ультразвуковым методом. Совмещенный метод реализован в ультразвуковых станках мод. 4Б772 и 4Д772Э.

12.4. Лучевые методы размерной обработки

Под лучевыми методами размерной обработки понимают процессы удаления материала плавлением и испарением его под действием энергии лучевых потоков или высокоэнергетических струй с удельной плотностью энергии до $10^6\ldots 10^9$ Вт/см². Основные разновидности лучевых методов – электронно-лучевая и светолучевая (лазерная) обработки.

Отличие лучевых методов размерной обработки от пайки и сварки заключается главным образом в длительности импульсов: в первом случае применяются короткие импульсы ($\tau_{\text{и}} < 10$ мкс), а во втором – импульсы большой длительности.

При размерной обработке луч действует в течение времени, необходимого для плавления и испарения металла, и не действует во время выброса этого металла из лунки. Регулированием скважности цикла (от 0,1 до 1,0) в импульсном режиме можно в определенных пределах управлять процессом формообразования и качеством поверхностного слоя.

Электронно-лучевая обработка (ЭЛО). Основана на удалении вещества при воздействии сфокусированного пучка электронов – испарение или сублимация вещества из точки касания электронного луча (локальный нагрев за счет преобразования кинетической энергии электронов в тепловую). При обработке вольфрама, молибдена и ниобия КПД превращения кинетической энергии в тепловую – 0,75...0,79.

При нагревании металла электроны могут получить скорости в направлении, перпендикулярном поверхности тела, достаточные для преодоления потенциального барьера (термоэлектронная эмиссия). Очень большие скорости (до 10 км/с) можно сообщить электронам лишь в среде, имеющей высокий вакуум, при использовании высоких ускоряющих напряжений.

Современные средства электротехники и электронной оптики позволяют регулировать кинетическую энергию электронов и фокусировать ее на весьма малых площадях.

Установка для ЭЛО (рис. 45) состоит из электронной пушки 4, в которой формируется мощный электронный луч; вакуумной рабочей камеры, в которой производится обработка детали 13 (вместе с устройствами точной установки и перемещения заготовки); вакуумной насосной системы, создающей вакуум порядка 10^{-5} см рт. ст. ($1,33 \times 10^{-2}$ Па), контрольной системы, управляющей электронным лучом и его траекторией, импульсного

источника энергии 1, приборов для контроля наблюдения за ходом процесса.

Режимы обработки электронным лучом определяются силой тока в луче I , ускоряющим напряжением U , плотностью энергии в фокальном пятне q , длительностью τ и частотой импульсов f , а также скоростью перемещения луча относительно заготовки.

В зависимости от величины q механизм удаления материала заготовки может быть различным: термическим, капельным пароструйным и взрывным. Наиболее эффективен режим кинжального проплавления ($q > 10^6$ Вт/см²), когда передача энергии твердому телу осуществляется периодическими тепловыми взрывами и скорость выделения теплоты значительно превышает скорость ее отвода (взрывообразное испарение). Образуется ударная волна, генерирующая направленный в глубь тела поток дислокаций и инициирующая процесс плавления.

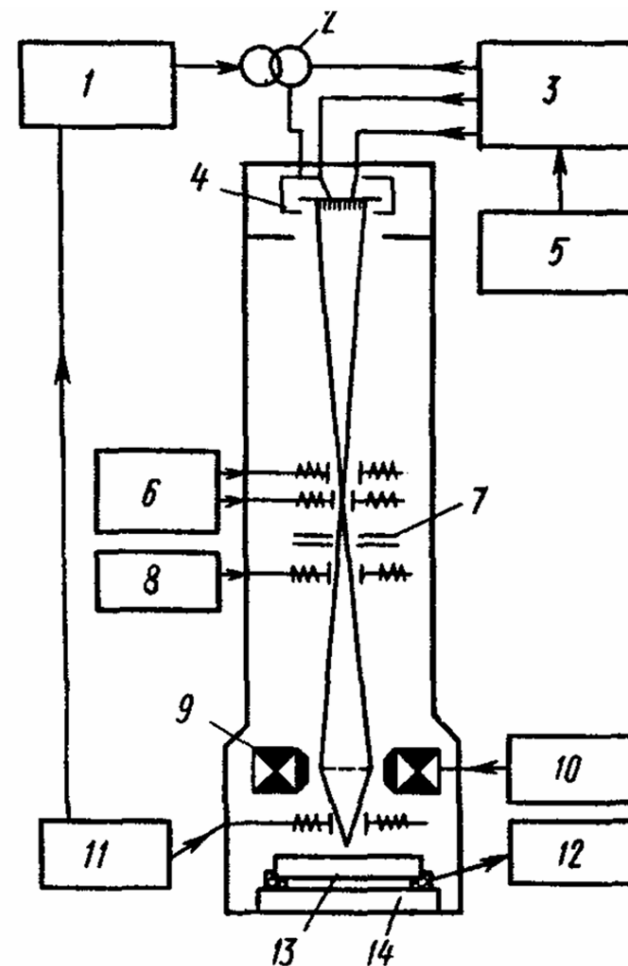


Рис. 45. Схема электронно-лучевой обработки:
 1 – генератор импульсов; 2 – импульсный трансформатор;
 3 – источник напряжения, возбуждения и накала; 4 – катод;
 5 – источник высокого напряжения; 6 – электромагнитная юстировка; 7 – диафрагма; 8 – корректор изображения;
 9 – магнитная линза; 10 – источник питания линзы;
 11 – контрольный контур; 12 – катодный осциллоскоп;
 13 – обрабатываемая деталь; 14 – рабочий стол

Мощность $W_{и}$ электронного пучка в импульсе: $W_{и} = IUft$. Производительность процесса V и глубина обработки h зависят от $W_{и}$, площади по-

перечного сечения луча F , а также теплофизических характеристик материала заготовки.

Электронно-лучевым методом можно обрабатывать как электропроводящие, так и неэлектропроводящие материалы с любыми механическими свойствами. Однако предпочтительнее обработка деталей из электропроводящих материалов или деталей с токопроводящими покрытиями, так как в этом случае статический заряд отводится путем заземления детали. Наличие статического заряда оказывает дефокусирующее действие на поток электронов.

Отечественные электронно-лучевые установки для размерной обработки типа ЭЛУРО-П обычно работают в многоимпульсном режиме с частотой следования импульсов электронного пучка 10...1000 Гц и длительностью импульса 15...100 мкс при ускоряющем напряжении 80...100 кВ. При этом диаметр электронного пучка в фокальном пятне составляет 10...50 мкм и плотность потока энергии 10^7 ... 10^8 Вт/см². Основная область применения ЭЛО – обработка узких канавок и изготовление малых отверстий (перфорирование).

Преимущества ЭЛО: высокая производительность процесса, отсутствие химического взаимодействия, возможность обработки труднодоступных мест, обработка очень малых отверстий и узких канавок. Недостатки ЭЛО: необходимость создания вакуума (на это требуется 10...15 мин), сложность и высокая стоимость установок, необходимость защиты обслуживающего персонала от рентгеновского излучения.

Процессы лазерной обработки реализуются на установках двух типов: на базе твердотельных оптических квантовых генераторов (ОКГ) и на базе газовых ОКГ.

В установках типа «Квант» в качестве активной рабочей среды используют твердые тела – стержни из искусственного рубина, стекла с добавками неодима, алюмонатриевого граната и др. Активной средой газовых ОКГ является смесь газов – обычно $\text{CO}_2 + \text{He} + \text{N}_2$ (лазеры на CO_2), лазеры типа ЛТ-1, ЛТ-1-5 и др.

Кратковременные вспышки газоразрядной лампы 1 (рис. 46) возбуждают часть атомов хрома рубинового стержня, переводя их в более высокое энергетическое состояние. Возбужденные атомы могут передавать энергию соседним атомам. Волна, идущая вдоль оси кристалла, многократно отражается от его плоскопараллельных торцов и быстро усиливается. Через полупрозрачный (нижний) торец стержня выходит мощный

импульс красного света, проходя через диафрагму 2, оптическую фокусирующую систему 3 и защитное стекло 4 на поверхность детали 5.

Энергия излучения ОКГ невелика – 10...100 Дж, а КПД составляет 0,1...1%. Температура в точке приложения луча – 5500...9000°К, достаточная для плавления и испарения материала.

При обработке нержавеющей стали производительность процесса $V=50$ мм³/мин, керамики 30 мм³/мин. Наибольшая глубина обрабатываемых отверстий в стальных образцах 10 мм.

Область применения квантовых генераторов примерно такая же, как и электронно-лучевого метода. Однако имеются некоторые различия. Электронный луч в силу своей инерционности проникает глубже в материал. Световой луч безынерционен, поэтому глубина его проникновения невелика. Глубина обработки лазером зависит от теплопроводности материала детали, так как нижние слои получают энергию за счет теплопроводности.

Преимущества обработки световым лучом перед электронно-лучевой обработкой: возможность обработки крупногабаритных деталей, не требуется вакуумных камер, обработка ведется в воздушной среде; не нужна защита обслуживающего персонала от рентгеновского излучения. Необходимы лишь защитные очки; меньшие габариты оборудования.

Недостатки обработки световым лучом: сравнительно небольшая излучаемая мощность; мощность подкачки в 1000...3000 раз больше излучаемой мощности; низкий КПД квантовых генераторов (1...2%); перегрев кристалла и трудности его охлаждения; низкая точность обработки (9...10-й квалитеты).

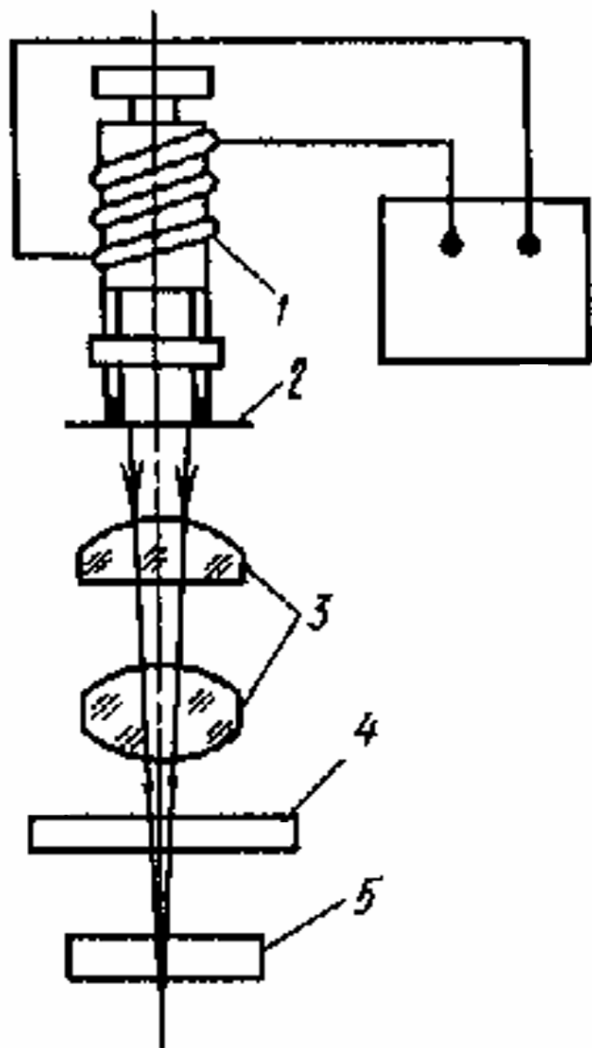


Рис. 46. Схема обработки лазером на твердом теле

Эффективно использование в одном технологическом процессе нескольких методов. Например, использование светового луча и ультразвука при изготовлении алмазных волок и фильер позволило сократить время черновой обработки с десятков часов до нескольких минут, а продолжительность чистовой обработки ультразвуковым методом – в 4...5 раз.

Лазерная обработка применяется для изготовления отверстий в камнях подшипников, в форсунках, жиклерах, для перфорации охлаждаемых лопаток, для раскроя листов из титановых сплавов, нержавеющей стали и композиционных материалов. Газовые лазеры применяются для резки и вырезки сложных контуров.

Глава 13. СВАРКА МАТЕРИАЛОВ

13.1. Способы сварки материалов

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемных соединений между свариваемыми частями при их местном (или общем) нагреве или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого.

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного шва, сварка материалов делится на три класса: термический, термомеханический и механический.

Большое разнообразие форм, размеров и материалов деталей обуславливает необходимость применения разных видов сварки.

Ручная дуговая сварка металлическим электродом основана на расплавлении основного металла и электродного стержня за счет горения между ними электрической дуги (температура 4000...6000°C). Электроды имеют специальное покрытие, которое, расплавляясь, создает газовую и шлаковую защиту сварного шва от вредного действия кислорода и азота воздуха. Сварку выполняют на постоянном и переменном токе.

Ручная дуговая сварка угольным электродом также основана на горении электрической дуги между свариваемым металлом и электродом. Для образования сварного шва в зону дуги вводят присадочную металлическую проволоку. Для сварки используется только постоянный ток.

При дуговой сварке под флюсом электрическая дуга горит под флюсом между свариваемым металлом и электродной проволокой, которая подается в зону сварного шва механически или автоматически. Ток к проволоке подводится через контактные губки держателя от сварочного трансформатора. Флюс поступает в зону сварки из бункера и, расплавляясь, защищает сварной шов, образуя слой шлака.

Дуговая сварка в защитных газах (аргон, гелий, азот, углекислый газ) предполагает защиту расплавленного металла от воздействия кислорода и

азота воздуха струей защитного газа. Этот вид сварки может осуществляться вручную, полуавтоматически и автоматически плавящимися и неплавящимися электродами. При сварке дуга горит между вольфрамовым электродом и свариваемым металлом, при этом возможна подача в зону шва присадочной проволоки. Сварку выполняют на постоянном и переменном токе. При сварке плавящимся электродом дуга горит между электродной проволокой и свариваемым металлом.

При газопрессовой сварке свариваемые детали в месте их соединения нагревают специальной газокислородной горелкой до пластического состояния или до оплавления кромок, а затем сдавливают внешним усилием. Сварку применяют как для металлов, так и для пластмасс.

Контактная сварка предусматривает стыковую, точечную и шовную виды сварок. Стыковая сварка предусматривает сварку проволоки, стержней, труб, нешироких полос встык, для чего детали зажимаются в сварочной машине и через них пропускается электрический ток. В месте соприкосновения (контакта) торцы деталей разогреваются до пластического состояния или до плавления и свариваются при сдавливании. При точечной и швной сварке свариваемые детали собираются внахлестку. В последнем случае электроды сварочной машины выполняются в виде вращающихся роликов.

Газовая сварка относится к термическому классу. Источником нагрева при газовой сварке служит пламя сварочной горелки, получаемое сжиганием горючего газа в смеси с технически чистым кислородом. Для пластмасс возможно применение смеси бутан-пропана с воздухом. Газовую сварку выполняют как с применением присадочного прутка в виде проволоки определенного сечения, так и без него, если формирование шва возможно за счет расплавления кромок основного материала. Нагрев газотеплоносителя для сварки пластмасс также возможен в электрической горелке, когда газ проходит через трубу с расположенными в ней электрическими спиралями (температура нагрева 270...290°C регулируется током, проходящим по спиралям).

Сварка нагретым инструментом используется для сварки пластмасс, которые не свариваются токами высокой частоты (полиэтилен, полипропилен, винипласт, полиизобутилен, полистирол). Суть метода заключается в нагреве свариваемых поверхностей с помощью специального инструмента (паяльника, нагретого ролика, утюга и т.п.) и приложения последующего давления, в том числе и инструментом. При сварке этим спосо-

бом фторопласта-4 необходимо обеспечить достаточное давление сжатия деталей и температуру 380...390°C с выдержкой 3...5 мин.

Сварка трением применяется как для сварки металлов, так и для сварки пластмасс и основана на преобразовании механической энергии (вращение или перемещение одной из свариваемых деталей относительно другой при достаточном сдавливании соединяемых поверхностей) в тепловую. Относительное перемещение трущихся поверхностей также возможно при применении промежуточного (третьего) элемента, который затем удаляют из зоны сварки.

Сварка токами высокой частоты (в том числе индукционная сварка) основана на свойстве материалов нагреваться в высокочастотном электромагнитном поле. Сварка может быть роликовой, точечной, объемной и прессовой. Такую сварку можно осуществлять и для материалов, которые не нагреваются в высокочастотном поле, для чего применяются промежуточные материалы, передающие тепло свариваемым материалам.

Способ сварки ультразвуком основан на преобразовании механических высокочастотных колебаний, возбуждаемых в свариваемых материалах, в тепловую с приложением давления.

Способ сварки излучением основан на преобразовании энергии излучения (инфракрасного, светового луча или лазера, фокусируемого на свариваемом участке) в тепловую.

Для сварки разнородных материалов применяют сварку взрывом и ядерную сварку. Сварка взрывом основана на принципе создания высокого давления между свариваемыми деталями, под действием которого поверхностные слои соединяемых материалов внедряются друг в друга. Ядерная сварка состоит в облучении потоком нейтронов соединений лития или бора, предварительно нанесенных на свариваемые места. При облучении возбуждаются ядерные реакции, сопровождающиеся выделением теплоты, необходимой для сварки. Этот метод нельзя применять для сварки материалов, способных при нейтронном облучении приобретать радиоактивность.

13.2. Сварочное оборудование

Для дуговой сварки применяют источники постоянного или переменного тока. В качестве источников постоянного тока используются: сварочные преобразователи, приводящиеся в движение от электродвигателей

переменного тока (табл. 65); выпрямители в совокупности с балластными сопротивлениями (табл. 66); сварочные агрегаты с автономными приводами от двигателей внутреннего сгорания (табл. 67); аккумуляторные батареи различной емкости (например, 12СТ-128) в совокупности с балластными сопротивлениями. В качестве источников переменного тока используют сварочные трансформаторы (табл. 68).

Таблица 65

Технические характеристики сварочных преобразователей

Параметр	ПСО-300-3	ПСО-500	ПГС-500	ПСУ-500	ПС-1000
Граница регулирования силы сварочного тока, А	100...300	65...500	60...500	60...500	300...1000
Номинальное напряжение, В	32	40	40	40	45
Номинальная мощность генератора, кВт	9,6	20	20	20	45
Мощность электродвигателя, кВт	14	28	30	30	55
Внешняя вольт-амперная характеристика	Крутопадающая	Крутопадающая	Жесткая	Жесткая	Падающая

Таблица 66

Технические характеристики сварочных выпрямителей

Параметр	ВС-300	ВС-600	ВСЖ-303	ВДГ-302	ВДГ-601	ВДУ-504	ВДУ-1001	ВДУ-1601	ВКС М-1001
Граница регулирования силы сварочного тока, А	30...300	100...600	50...315	100...315	100...630	70...500	300...100	500...1600	300...1000
Рабочее напряжение, В	20...40	20...40	32	16...38	18...66	18...50	24...66	26...66	70

ность, кВт	17	35	20	19	67	40	105	165	76
КПД, %	70	75	76	75	82	82	83	84	86
Напряжение без нагрузки, В	20...40	20...40	18...50	30...55	66	80	100	100	70

Таблица 67

Технические характеристики сварочных агрегатов

Параметр	АСБ-300-7	АДВ-306	АДД-303	АСД-3-1	АСДП-500Г-3М
Рабочее напряжение, В	32	32	32	40	55
Граница регулирования тока, А	100...300	15...300	100...300	120...500	600
Двигатель: тип	ГАЗ-320	ГАЗ-320Б	Д-37М	М69-204Г	М204Г
мощность, кВт	23,58	23,58	29,44	47,16	47,16
Внешняя вольт-амперная характеристика	Крутопадающая			Падающая	Жесткая

Таблица 68

Технические характеристики сварочных трансформаторов

Параметр	ТСП-2	ТС-300	ТД-300	СТН-450	СТШ-500	ТСД-1000
Напряжение сети, В	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
Выходное напряжение без нагрузки, В	62	63	75	80	60	71
Рабочее напряжение, В	30	30	30	30	30	42
Граница регулирования силы сварочного тока, А	90...300	30...385	60...400	80...800	145...650	400...1200
Номинальная мощность, кВт	19,4	20	19,4	40	33	78
Внешняя вольт-амперная характеристика	Падающая					

При сварке деталей дуговой сваркой возникают нежелательные последствия: окисляется металл, поглощается азот, выгорают легирующие добавки, происходят объемные и структурные превращения, что приводит к короблению деталей, нарушению термической обработки и снижению твердости. Окисление металла понижает механические свойства и пластичность сваренных участков. Поглощение азота за счет образования нитрида железа, марганца и других элементов увеличивает прочность сварного шва, однако резко уменьшает его пластичность. Для уменьшения влияния этих явлений сварку выполняют электродами с обмазкой. При выборе электродов необходимо учитывать их назначение.

Свойства материала шва должны максимально приближаться по качеству к свойствам основного материала. Основные марки электродов и их назначение приведены в табл. 69. Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемых деталей и размещения сварного шва в пространстве. Силу сварочного тока определяют по диаметру применяемого электрода.

Таблица 69

Электроды для ручной дуговой сварки и наплавки

Электрод		Твердость поверхности НВ		Область применения
марка	тип	после наплавки	после закалки	
ОММ-5	Э-42	120...140	—	Сварка и наплавка малоуглеродистых сталей
ОМА-2	Э-42	120...140	—	
ЦМ-7	Э-42	120...140	—	Наплавка поверхностей, которые не требуют высокой твердости
УОНИ-13/45	Э-45	140...200	—	
УОНИ-13/55	Э-55	140...210	—	
ОЗН-300	ЭН-15Г3-25	250...300	250...300	Наплавка деталей, работающих в условиях высокого контактного напряжения и ударного нагружения
ОЗН-400	ЭН-20Г4-40	370...430	—	

Электрод		Твердость поверхности НВ		Область применения
марка	тип	после наплавки	после закалки	
ОМГ	ЭН-70Х11-25	250...320	—	Наплавка деталей из стали 110Г13Л, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания
ОМГ-Н	ЭН-70Х11Н3-25	250...310	—	
ЦН-5	ЭН-25Х12-40	41,5	50	Наплавка деталей, быстроизнашивающихся и требующих механической обработки после наплавки
ЭН-60М	ЭН-60Х2СМ-50	51,5	61	
ЦШ-1	ЭН-30Х3В8	41,5	55	
Т-590	ЭН-У30Х25РС2Г-60	56...60	—	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания
Т-620	ЭН-У30Х25Р2	59...63	—	
ВКН/ЛИВТ	С2ТГ-55	57...61	—	

Газовую сварку осуществляют, как правило, ацетилено-кислородным нейтральным пламенем. В отдельных случаях применяют восстановительное пламя, а при резании металлов — окислительное пламя. Ацетилен является основным горючим газом для газовой сварки и резки металлов, температура его пламени при сгорании в смеси с технически чистым кислородом достигает 3150°C. К месту сварки ацетилен доставляется в специальных стальных баллонах, заполненных пористой, пропитанной ацетоном массой (благодаря его хорошей растворимости в ацетоне), под давлением 1,9 МПа. Ацетилен могут также получать непосредственно на месте сварки с помощью специальных ацетиленовых генераторов (табл. 70). Принцип ацетиленового генератора основан на разложении карбида кальция водой. Кислород сохраняют и транспортируют в стальных баллонах вместимостью 40 дм³ под давлением 15 МПа.

Таблица 70

Технические характеристики некоторых моделей ацетиленовых генераторов

Характеристика	ГВД-0,8	ГВР-1,25	АНВ-1,66	АСМ-1-58	МГ-65	ГВР-3
Расход ацетилена, м ³ /ч	0,8	1,25	1,25	1,25	2	3
Рабочее давление ацетилена, МПа	0,007... 0,03	0,008... 0,015	0,002... 0,003	0,01... 0,03	0,0035	0,015... 0,03
Система генератора	Вытеснение	Вода на карбиде и вытеснение	Вода на карбиде и вытеснение	Вытеснение	Вода на карбиде	Вода на карбиде и вытеснение
Количество карбида кальция для одной загрузки, кг	2	4	4	2,2	5	8
Грануляция карбида кальция, мм	25/80	25/80	25/80	25/80	15/25 и 25/80	25/80
Масса генератора в незаряженном состоянии, кг	195	54	42	204	70	110
Использование в зимних условиях	С теплоизоляционным чехлом	С чехлом	До -25°C	До -30°C	Не используют	

Примечание: в числителе дроби указан минимальный размер гранул; в знаменателе – максимальный.

Кроме ацетилена при сварке и резке металлов применяют и другие, более дешевые, горючие газы (водород, коксовый газ, городской газ, пропан, пропанобутановая смесь) и пары горючих жидкостей (бензин, керосин).

Химический состав и физико-механические свойства материала присадочных прутков должны быть близки к составу и свойствам свариваемых материалов. Для защиты расплавленного металла от окисления на кромки свариваемого металла и на присадочные прутки заранее наносят

флюс в виде порошка или пасты (иногда в виде паров, например флюс БМ-1). В качестве флюсов (в зависимости от свойств свариваемых материалов) используют буру, борную кислоту, окислы и соли бария, калия, лития, натрия, фтора и др.

Кислород и горючие газы к месту сварки (к газовой горелке) подают по специальным шлангам, обладающим достаточной гибкостью и высокой прочностью.

Основным инструментом газосварщика является газовая горелка, в которой осуществляется образование горючей смеси. Газовые горелки подразделяются: по способу смесеобразования – на инжекторные и безынжекторные; по роду применяемого газа – ацетиленовые, для газозаменителей, для жидких горючих и водородные; по назначению – универсальные (сварка, резка, пайка, наплавка) и специализированные; по числу пламени – одно- и многопламенные; по мощности пламени и т.д. Схема безынжекторной горелки представлена на рис. 47. Кислород по резиновому рукаву через ниппель 4, регулировочный вентиль 3 и специальные дозирующие каналы поступает в смеситель горелки. Аналогично через ниппель 5 и вентиль 6 поступает в смеситель и ацетилен. Из смесительной камеры горючая смесь, проходя по трубке наконечника 2, выходит из мундштука 1 и, сгорая, образует сварочное пламя. Для образования нормального сварочного пламени горючая смесь должна вытекать из канала мундштука горелки с определенной скоростью. Эта скорость должна быть равна скорости горения. Если скорость истечения больше скорости горения, то пламя отрывается от мундштука и гаснет. Когда скорость истечения газовой смеси меньше скорости горения, горючая смесь загорается внутри наконечника. Для нормальной работы безынжекторных горелок сварочный пост снабжают регулятором равного давления, автоматически обеспечивающим равенство рабочих давлений кислорода и ацетилена. Инжекторные горелки более универсальны и не требуют установки такого регулятора.

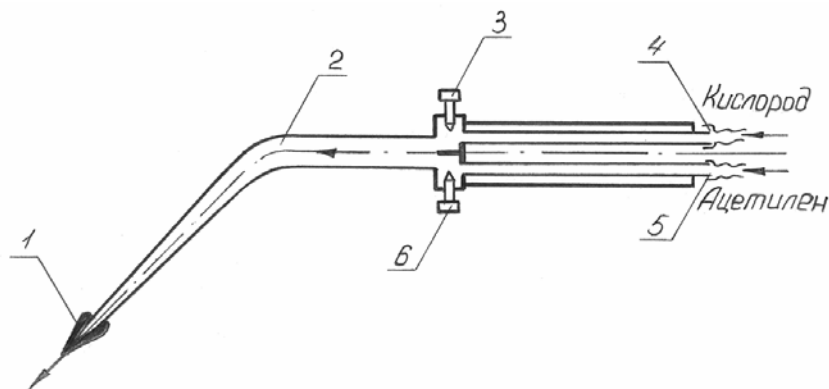


Рис. 47. Схема безынжекторной горелки:
1 – мундштук; 2 – трубка наконечника;
3, 6 – регулировочный вентиль; 4, 5 – ниппель

Схема электрической горелки для сварки пластмасс представлена на рис. 48. Воздух под давлением со скоростью 25...30 м/с проходит через многоканальную трубку 4 с расположенной на ней (или в ней) спиралью 5 выходит через наконечник 2 и сменное сопло 1. Имеется возможность регулирования скорости подачи воздуха и рабочей температуры выходящего из сопла газа.

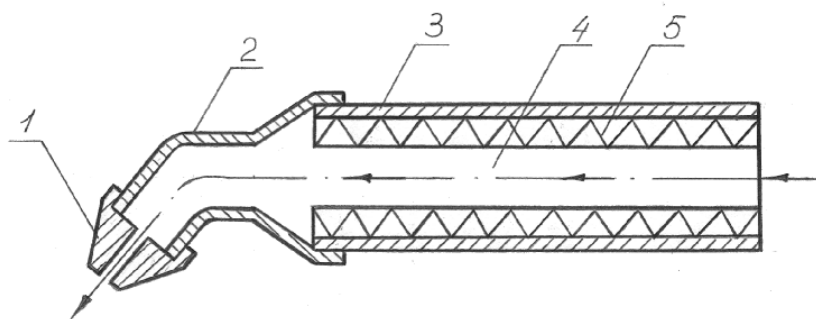


Рис. 48. Схема электрической горелки для сварки пластмасс:
1 – сменное сопло; 2 – наконечник; 3 – кожух;
4 – многоканальная трубка; 5 – спираль

При сварке пластмасс ультразвуком (рис. 49) свариваемые материалы 2 зажимаются между подвижной опорой 1 и концом волновода-концентратора 3. Сварка происходит в момент подключения обмотки

вибратора 4 к ультразвуковому генератору 5. Придав наконечнику волновода-концентратора соответствующую конфигурацию, можно производить контурную сварку, в том числе и в труднодоступных местах.

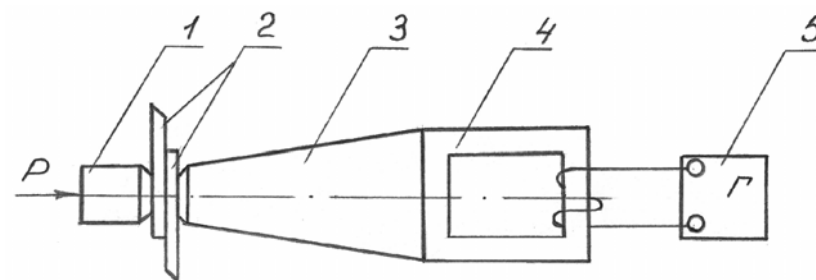


Рис. 49. Основной узел ультразвуковой сварочной машины:
1 – подвижная опора; 2 – свариваемые материалы;
3 – волновод-концентратор; 4 – вибратор;
5 – ультразвуковой генератор

13.3. Сварка металлов

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству сварного шва, а также химико-физико-механических свойств свариваемых материалов выбирают тот или иной вид сварки. Наиболее дешевый и легкодоступной является сварка металлическим электродом, однако она применима не для всех металлов и в некоторых случаях неприемлема. Контактную сварку в основном применяют для сварки тонких металлических листов, например, для сварки кузовов автомобилей.

Наиболее универсальной и широко применяемой является газовая сварка. Перед ее проведением свариваемые кромки металлов тщательно подготавливают: удаляют масло, окалину и другие загрязнения; тщательно зачищают (при необходимости, например при сварке алюминия, свариваемые кромки травят в кислоте, затем промывают и сушат); разделяют кромки в зависимости от взаимного расположения свариваемых деталей; осуществляют прихватку короткими швами.

Наличие в стали углерода и различных легирующих добавок значительно сказывается на качестве свариваемости. При содержании углерода выше 0,25% свариваемость стали ухудшается, так как в зонах термического влияния образуются закалочные структуры, приводящие к трещинам. Повышение содержания углерода в присадочном материале вызыва-

ет пористость шва. Большое содержание марганца (более 1,8%) также приводит к возникновению трещин. Наличие в стали вредных примесей (сера, фосфор и др.) также приводит к хладноломкости сварного шва. Наличие в стали вольфрама, молибдена, хрома ухудшает свариваемость, а наличие титана, ниобия, меди – улучшает. Отдельные легирующие добавки (молибден, ванадий, вольфрам и др.) при сварке окисляются и выгорают. В табл. 71 приведена классификация основных марок стали по свариваемости.

Таблица 71

Классификация основных марок стали по свариваемости

Характеристика свариваемости	Марки сталей		
	Углеродистые	Конструкционные легированные	Высоколегированные
Хорошая	Ст1кп, Ст1пс, Ст2кп, Ст2пс, Ст3, Ст4, Ст6, Ст8, Ст10, Ст15, Ст20, Ст25	15ХА, 20Х, 15ХМ, 20ХГСА, 12Хн2, 12ХН2Н4А, 15НМ	08Х20Н14С2, Х23Н18, Х18Н9Т, 08Х18Н10
Удовлетворительная	БСт5сп, 30, 25	20ХН3А, 30Х, 12ХН2, 30ХМ, 25ХГСА, 15ХСН	9Х14А, 12Х14А, 30Х13, 12Х17, 25Х13Н2
Ограниченная	Ст6, 40, 45, 50	35ХМ, 30ХГС, 35СГ, 33ХС, 40Х, 40ХМФА, 40ХН, 20Х2Н4А, 40Л, 45Л, 50Л	20Х18Н9, Х18Н9, 12Х18Н9, 20Х23Н18, 36Х18Н25С2

Окончание табл. 71

Характеристика свариваемости	Марки сталей		
	Углеродистые	Конструкционные легированные	Высоколегированные
Плохая	65, 70, 75, 80, 85, 40Г, 45Г	50Г, 50Г2, 50ХГ, 50ХГСА, 6ХС, 7ХЗ, 45ХНЗМФА	Х12, Х12М, 9ХС, 3Х2В8Ф, 5ХНТ, 5ХНВ, 6ХВ2С

Горячая сварка чугуна является наиболее надежным способом, обеспечивающим лучшее качество сварного соединения, и применяется при исправлении дефектов литья и ремонте небольших чугунных деталей.

Выбор способа сварки определяется составом чугуна, конструкцией детали, характером дефекта и условиями работы.

Процесс горячей газовой сварки разбивается на ряд отдельных операций, от которых зависит качество сварного соединения. К этим операциям относятся: подготовка деталей под сварку; предварительный подогрев деталей; сварка деталей; охлаждение деталей после сварки. Раковины, трещины и другие поверхностные дефекты подготавливают механической разделкой места заварки, трещины по концам засверливают. Детали, подготовленные под горячую сварку, собирают, прихватывают по кромкам и подвергают нагреву до 500...700°С. Сварку чугуна выполняют газосваркой нормальным пламенем или пламенем с небольшим избытком ацетилена. Для получения качественного сварного соединения необходимо после сварки уменьшить скорость охлаждения. Для этой цели иногда свариваемые детали подвергают вторичному нагреву до температуры 600...750°С и охлаждают вместе с печью. Также возможно применение сварки чугуна с местным подогревом.

Холодную сварку чугуна применяют в тех случаях, когда детали при нагревании и охлаждении способны свободно расширяться и сжиматься, не вызывая значительных остаточных напряжений. При этом мощность пламени горелки должна быть максимальной. Технологический процесс сварки аналогичен процессу при горячей сварке. После сварки изделие медленно охлаждают под слоем асбеста или в песке.

При ремонтной сварке используют пайку-сварку чугуна латунными припоями. Преимущество пайки-сварки чугуна латунью по сравнению со сваркой плавлением заключается в том, что нагрев чугуна до температуры плавления латуни (850...900°С) существенно не изменяет структуры металла и не вызывает значительных термических напряжений. Техника пайки-сварки состоит в следующем. Кромки нагревают до красного цвета, посыпают флюсом (МАФ-1, ФСЧ-2) и облуживают участками. Используют припой типа ЛОК, ЛОМНА и др.

Трудность сварки меди обусловлена ее физико-химическими свойствами. Медь склонна к окислению с образованием тугоплавких окислов, поглощению газов расплавленным металлом, обладает высокой теплопроводностью и большой величиной коэффициента линейного расширения при нагревании. Поэтому при сварке меди применяют специальные флюсы и мощное пламя горелки. Чем чище медь, тем она лучше сваривается. Наиболее широко распространенным является флюс, содержащий: 30%

буры; 50% борной кислоты; 10% поваренной соли; 10% кислого фосфорнокислого натрия. Также можно применять газообразный флюс БМ-1. Для сварки используют присадочную проволоку и прутки марок: М-1, МСр1, МНЖ5-1, МНЖК5-1-0,2-0,2. Сварочная проволока МСр1 содержит 0,8...1,2% серебра.

Основными затруднениями при сварке латуней являются выгорание цинка, поглощение газов расплавленным металлом и повышенная склонность металла шва к образованию пор и трещин. Для борьбы с испарением цинка при газосварке латуни применяют окислительное пламя и специальные присадочные материалы, легированные кремнием и бором. Применяют присадки следующих марок: Л63, ЛО60-1, ЛК62-0,5 и др., флюс – тот же, что и при сварке меди. Для уплотнения металла шва и повышения его механических свойств шов проковывают и подвергают отжигу при температуре 600...650°C с последующим медленным охлаждением.

При сварке бронз применяют те же флюсы, нормальное пламя и специальную сварочную проволоку БрОЦ4-3 и БрОФ6,5-0,15. Иногда осуществляют предварительный нагрев до температуры 300...450°C.

Сварка никеля не вызывает затруднений, за исключением образования окиси никеля, температура плавления которой выше, чем у основного металла. Поэтому сварку желательно вести под флюсом (тот же, что и для меди). Присадочный металл – никелевая проволока, легированная кремнием, марганцем и титаном.

Основной трудностью при сварке алюминия является образование на его поверхности окисной пленки (Al_2O_3) с температурой плавления 2050°C. Поэтому перед сваркой присадочную проволоку и свариваемые кромки травят в течение 2 мин в 25%-ном растворе ортофосфорной кислоты или в 15%-ном растворе азотной кислоты, затем промывают и сушат (или протирают). Сварку ведут в нейтральной среде (аргоне) неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки либо газосваркой с применением специальных флюсов. Наибольшее распространение получил флюс марки АФ-4А, содержащий: 41% хлористого натрия; 51% хлористого калия; 8% фтористого натрия.

Основными способами сварки деформируемых магниевых сплавов являются сварка плавлением и различные виды контактной сварки. Сварку плавлением выполняют на том же оборудовании, что и сварку алюминиевых сплавов.

Аргонодуговой сваркой можно сваривать все применяемые в промышленности деформируемые магниевые сплавы, за исключением сплава ВМ65-1. Высокое содержание цинка в этом сплаве обуславливает широкий интервал кристаллизации и способствует образованию трещин при сварке.

Сложные сварные детали и узлы конструкции этим методом можно получить из сплавов МА1, МА2, МА2-1, МА8 и МА13. Сплав ВМД1 может применяться для менее сложных сварных деталей и узлов.

Сплав МА11 обладает повышенной склонностью к образованию трещин при сварке. Из сплавов МА9, МА10, МА3, МА5 можно сваривать только детали простой формы.

При сварке особое внимание следует обратить на защиту расплавленного металла шва и околошовной зоны от атмосферного воздуха. Для защиты поверхности расплава и прилегающей к нему зоны применяют слой жидкого флюса или инертного газа (аргона или геля) или одновременно жидкого флюса и инертного газа.

Применение флюса ВФ-156 позволяет получать чистые сварные швы, не содержащие шлаковых и газовых включений. При газовой сварке флюс ВФ-156 предотвращает рост зерна в шве.

13.4. Сварка полимерных материалов

Все существующие способы сварки основаны на нагреве места контакта свариваемых материалов посредством различных тепловых источников. Сварке подвергаются лишь термопластичные полимеры, способные при определенных температурах переходить в вязкотекучее состояние. При этих температурах и условии плотного контакта свариваемых материалов в поверхностных слоях материалов происходит взаимодиффузия частей макромолекул полимера из одного материала в другой. На прочность соединения оказывают влияние технологические режимы сварки, химическая структура полимера, степень его полярности и подвижности макромолекул, их ориентация, состояние свариваемых поверхностей и другие факторы.

Обычно сварку осуществляют с применением присадочного материала, который разогревается одновременно с кромками свариваемых деталей. Сварка происходит в вязкотекучем состоянии материала под давлением. Ввиду низкой теплопроводности пластмасс разогреваются лишь по-

верхностные слои, в связи с этим используют присадочные прутки небольшого диаметра (2...4 мм). Газовым теплоносителем сваривают в основном толстостенные изделия, в частности винипластовые трубы и емкости. Наиболее рациональна сварка толстостенных деталей встык, предпочтительнее с Х-образной разделке кромок, так как обеспечивается меньший расход присадочного материала и более высокая прочность соединения, чем при V-образной разделке. Детали толщиной до 2 мм можно сваривать встык без разделки кромок, обеспечив между кромками зазор до 1,5 мм. Поверхность кромок перед сваркой тщательно очищают и обезжиривают, например, ацетоном. Глянец снимают наждачной шкуркой или шабером. Сварку винипласта производят воздухом, подогретым до температуры 200...240°C и подаваемым под давлением 60 кПа.

Сварку полиэтилена, полипропилена, фторопласта-4, полиизобутилена, полистирола в основном осуществляют контактным нагревом под давлением. Свариваемые поверхности изделий разогреваются до температуры размягчения на глубину 2...3 мм и сдавливаются с определенным усилием до полного смыкания оплавленных поверхностей (с некоторым выдавливанием оплавленного материала). Давление снимают после отверждения соединяемых поверхностей (до 40 с). При сваривании тонких пленок между горячим инструментом и свариваемыми внахлест поверхностями помещают фторопластовую прокладку толщиной 0,1...0,15 мм.

Сварку токами высокой частоты применяют в основном для тех материалов, которые имеют достаточно высокий тангенс угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta$) и высокий коэффициент диэлектрической проницаемости ϵ (например, винипласта). Количество тепла, выделяемого в объеме свариваемого материала между электродами за 1 с, определяется по формуле:

$$Q=0,33U^2f\epsilon \operatorname{tg} \delta \text{ (кал),}$$

где U – напряженность электрического поля, В;

f – частота электрического поля, МГц.

Форма и размеры электродов зависят от вида сварочного соединения, конфигурации и размеров свариваемых изделий. Сваривают детали толщиной до 5 мм.

Сваривание полиолефиновых пленок толщиной 50...150 мкм осуществляют лазерной сваркой со скоростью до 400 м/мин. Для сварки фторо-

пласта с полиэтиленом, полистиролом, кварцем, алюминием и другими материалами применяется ядерная сварка.

Сравнительные данные свариваемости различных термопластов приведены в табл. 72.

Таблица 72

Характеристика свариваемости термопластов

Наименование пластмассы	Способ сварки						
	нагретым воздухом	нагретым инертным газом	нагретым воздухом в смеси с продуктами горения газа	трением	нагретым инструментом	контактным нагревом	токами высокой частоты
Полиэтилен (листы, пленки)	Хор.	Хор.	Удовл.	–	Хор.	Хор.	–
Полиэтилен (трубы, прутки)	Хор.	Хор.	Удовл.	–	Хор.	Хор.	–
Винипласт (листы, пленки)	Хор.	Хор.	Удовл.	Хор.	Хор.	Хор.	Хор.
Винипласт (трубы, прутки)	Хор.	Хор.	Удовл.	Хор.	Хор.	Хор.	Хор.
Полиамиды	Хор.	Хор.	Удовл.	Хор.	Хор.	Хор.	Хор.
Полиметилметакрилат	–	–	Удовл.	Удовл.	–	Хор.	Удовл.
Полиизобутилен	Хор.	Хор.	Удовл.	–	Хор.	–	–
Полистирол	Хор.	–	–	Хор.	Хор.	Хор.	–
Полипропилен	Хор.	Хор.	–	–	Хор.	Хор.	–
Фторопласт	Удовл.	Удовл.	–	–	–	Хор.	–

Глава 14. ПАЙКА МАТЕРИАЛОВ

14.1. Способы пайки материалов

Пайка – это технологический процесс получения неразъемных соединений металлов нагревом до расплавления более легкоплавкого присадочного металла – припоя, заполняющего зазор между соединяемыми деталями; основной металл при пайке не плавится, а нагревается до температуры расплавления припоя.

В качестве источников тепла при пайке используют газокислородное и газовоздушное пламя, электронагрев, индукционный нагрев, паяльники.

К преимуществам пайки относятся отсутствие расплавления и незначительный нагрев основного металла. Эти преимущества позволяют получать высококачественные соединения не только однородных металлов, но и разнородных металлов и сплавов.

Особенность пайки состоит в том, что при этом процессе *не происходит* плавления металла соединяемых деталей.

Родственным пайке процессом является лужение, при котором поверхность металлической детали покрывают тонким слоем расплавленного припоя, образующего в контакте с основным металлом припой-сплав переменного состава с теми же зонами, что и зоны при пайке. Если при пайке прочность паяного соединения определяется прочностью двух спаев и зоны сплавления, то при лужении прочность связи слоя полуды с основным металлом зависит от прочности переходного слоя (спая) между ними.

Лужение можно применить как предварительный процесс с целью создания более надежного контакта между основным металлом и припоем или как покрытие для защиты металлов от коррозии. Для повышения прочности спая, полученного при лужении, иногда проводят термическую обработку.

Паяемые конструкционные материалы выбирают в соответствии с условиями работы конструкции и требованиями прочности, герметичности, коррозионной стойкости и др.

В паяемых конструкциях применяют стали всех типов, чугуны, никелевые сплавы (жаропрочные, жаростойкие, кислотостойкие), медь и ее сплавы, а также легкие сплавы на основе титана, алюминия, магния и бериллия (табл. 73). Ограниченное применение имеют сплавы на основе тугоплавких металлов: хрома, ниобия, молибдена, тантала и вольфрама.

Таблица 73

Температура плавления некоторых

конструкционных материалов

Материал	Марка	Температура плавления, °С	
		Начало	Конец
Углеродистая деформируемая сталь	08кп	1485	1525
Хромомарганцевокислая сталь	30ХГСА	1485	1515
Хромоникелевая сталь	40ХНМА	1485	1490
	12Х18Н9Т	1400	1500
Жаропрочный никель-хромовый сплав	ХН77ТЮР	1400	1430
	ХН78Т	1380	1440
Жаростойкий и кислотостойкий чугун	ЧХ32, ЧХ28Д2	1135	1325
Медь	М0	1083	1083
Томпак	Л96	1060	1070
Латунь	Л63	900	920
Бронза	БрОФ6,5-0,15	890	1040
Титановый сплав	BT2	1680	1710
Алюминиево-марганцевый сплав	АМц	600	655
	АМг6	565	655
Дюралюминий	Д16	550	650
Силумин	АЛ5	577	627
Магнийевый деформируемый сплав	МА5	482	602
Магнийевый литейный сплав	Мл5	455	602
Цинковый сплав	ЦМ1	419	422
Бериллий	Чистый	1315	1315

Окончание табл. 73

Материал	Марка	Температура плавления, °С	
		Начало	Конец
Хром	–	1900	1900
Ниобиевый сплав	ВН2	2430	2460
Молибденовый сплав	ВМ1	2600	2620
Тантал	Чистый	2996	2996
Вольфрамо-молибденовый сплав	85-15	3240	3250
Вольфрам	Чистый	3410	3410

Формирование паяного соединения происходит под влиянием различных факторов (рис. 50).

Изменяя технологические параметры процесса пайки (состав и свойства припоя, термический цикл, средства активации поверхности, зазор, конструкцию паяного соединения), можно влиять на формирование швов паяных соединений и конечные свойства этих соединений. Например, факторами, определяющими степень смачивания припоем основного металла, являются состав и свойства основного металла и припоя, температура и время выдержки при пайке, а также средства активации поверхности. Если при заданных условиях пайки не удастся обеспечить хорошего смачивания припоем паяемого металла, то смачивание можно улучшить нанесением на паяемые поверхности слоя другого металла.

В некоторых случаях получение качественного паяного соединения при хорошей смачиваемости затруднено образованием на границе припой – паяемый металл хрупких прослоек интерметаллических соединений. В этом случае получение соединения с требуемыми свойствами зависит от взаимодействия припоя и паяемого металла.

Факторами, влияющими на этот процесс, являются состав и свойства паяемого металла и припоя, температура и время выдержки при пайке и величине зазора (табл. 74).

Таблица 74

Рекомендуемые величины паяльных зазоров, мм

Припои	Основной металл				
	Углеродистая сталь	Коррозионно-стойкая сталь	Медь и ее сплавы	Титан	Алюминий и его сплавы
Медный	0,02...0,15	0,02...0,15	—	—	—
Латунный	0,05...0,30	0,05...0,30	—	—	—
Медно-цинковый	0,05...0,25	—	0,01...0,30	—	—
Медно-фосфористый	—	—	0,02...0,15	—	—
Серебряный	0,05...0,15	0,05...0,15	0,03...0,15	—	—
Серебряно-марганцовый	—	—	—	0,05...0,10	—
Никелевый	—	0,05...0,20	—	—	—
Алюминиевый	—	—	—	—	0,10...0,30

В ходе кристаллизации припоя при охлаждении возможно появление специфических дефектов – пор, раковин, трещин. В определенных условиях процесс кристаллизации может оказаться основным в формировании работоспособного соединения. Процесс кристаллизации в свою очередь определяется составом припоя и его взаимодействием с паяемым материалом, условиями охлаждения, величиной зазора, конструкцией соединения и некоторыми другими факторами.

Изменение свойств паяемого металла при пайке возможно в результате воздействия термического цикла пайки и в результате взаимодействия с припоем. Поэтому к технологическим факторам, влияющим на характер и степень изменения свойств основного металла, относятся и все факторы, которые определяют взаимодействие припоя и основного металла.

При пайке металла с керамикой, стеклом, когда имеется значительная разность в коэффициентах термического расширения и один из материалов или оба имеют низкие пластические свойства, получение работоспособных соединений может быть затруднено из-за возникновения напряжений и разрушения спая в процессе охлаждения.

К технологическим факторам, влияющим на напряженное состояние соединения, можно отнести состав и свойства паяемых материалов и при-

поя, термический цикл пайки, конструкцию паяных соединений и все факторы, влияющие на взаимодействие припоя и металла.

Таким образом, при получении паяного соединения наиболее важны смачивание припоем основного металла (необходимое условие образования соединения при пайке) и взаимодействие припоя с паяемым материалом, оказывающее влияние на все сопутствующие процессы, участвующие в формировании паяного соединения.

В настоящее время принята классификация способов пайки по различным признакам.

По условию заполнения паяльного зазора различают виды пайки: капиллярный и некапиллярный. При капиллярной пайке заполнение припоем зазора и удержание его в зазоре происходит под действием поверхностного натяжения капиллярных сил. При некапиллярной пайке зазор заполняется припоем преимущественно под действием силы тяжести или другой внешней силы.

К некапиллярным способам пайки (применяемым редко) отнесены сваркопайка (способ соединения разнородных металлов с различной температурой плавления, при котором расплавляется только более легкоплавкий металл, играющий роль припоя) и пайка заливкой, при которой соединение образуется через припой, заливаемый в полость, имеющуюся в одной из соединяемых деталей или в специальном приспособлении.

В зависимости от происхождения припоя различают следующие способы пайки: готовым припоем и контактно-реактивную, для которой роль припоя выполняет жидкая фаза, образующаяся в результате химической реакции с компонентами флюса.

Одним из перспективных видов припоя является композиционный припой, содержащий порошковый наполнитель, не расплавляющийся при пайке. Наполнитель создает в зазоре систему капилляров, что позволяет паять изделия с большими зазорами. Кроме того, наполнитель участвует в диффузионном взаимодействии с припоем и может быть использован для придания соединению специальных свойств.

Диффузионная пайка рассчитана на развитие диффузионных процессов между припоем и паяемым металлом; затвердевание паяного шва происходит при температуре выше температуры солидуса припоя.

По способу удаления окисной пленки при пайке и лужении различают флюсовую и бесфлюсовую пайку, ультразвуковые пайку и лужение, абразивное, абразивно-кристаллическое и абразивно-кавитационное лужение,

пайку в активных, нейтральных газах и в вакууме. При ультразвуковой пайке и лужении, абразивном, абразивно-кристаллическом и абразивно-кавитационном лужении происходит механическое разрушение оксидной пленки на поверхности паяемого материала под слоем расплавленного припоя, смачивающего очищенную поверхность, за счет явления кавитации, вызываемого ультразвуковыми колебаниями, или абразивного воздействия твердых частиц, содержащихся в припое.

По источникам нагрева существующие способы пайки разделяют на пайку паяльником, газопламенную, дуговую, электросопротивлением, экзотермическую (использующую теплоту, образующуюся при экзотермических реакциях специальных смесей), электронным лучом (чаще сканирующим), лазерную, световым излучением (с помощью кварцевых ламп и ксеноновых ламп высокого давления), печную, погружением в расплавленные соли или припой, волной припоя, нагретыми штампами, матами, блоками.

14.2. Паяльные припои и флюсы

Припои выпускают в виде проволоки, прутков, полос, порошковой проволоки, порошков и пасты.

В качестве припоев для пайки металлов применяют как чистые металлы, так и их сплавы.

Чтобы выполнить условия проведения пайки и обеспечить получение качественных паяных соединений, припой должен отвечать следующим требованиям:

- температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления паяемых материалов; для соединений, работающих при температуре выше 100°C, припой, имеющие температуру плавления ниже 300°C, применять не рекомендуется;
- припой должен хорошо смачивать поверхность паяемых деталей и затекать в зазоры соединения;
- выбранный припой должен обеспечивать получение соединения необходимой прочности;
- припой должен обеспечивать возможность нанесения антикоррозионного или декоративного покрытия требуемого качества.

В соответствии с ГОСТом 19248-78 по температуре расплавления ($t_{пл}$) припои подразделяют на: особолегкоплавкие ($t_{пл} \leq 145^\circ\text{C}$); легкоплавкие

($145 < t_{пл} \leq 450^\circ\text{C}$); среднеплавкие ($450 < t_{пл} \leq 1100^\circ\text{C}$); высокоплавкие ($1100 < t_{пл} \leq 1850^\circ\text{C}$); тугоплавкие ($t_{пл} > 1850^\circ\text{C}$).

Высокотемпературная пайка дает более прочные соединения, иногда не уступающие по прочности основному материалу.

Соединения, выполненные серебряными, медными и медно-цинковыми припоями, хорошо покрываются почти всеми видами гальванических покрытий. Соединения припоями, содержащими олово, не следует подвергать гальваническим покрытиям и оксидированию.

При выборе припоя для пайки стальных конструкций следует иметь в виду, что все медные и часть серебряных припоев способствуют возникновению трещин в основном материале в процессе пайки или при последующей сварке вблизи паяных швов.

Марки медных припоев приведены в табл. 75, марки медно-цинковых припоев, припоев системы серебро-медь-цинк, а также оловянно-свинцовых, магниевых и припоев на основе алюминия – в таблицах 76, 77, 78, 79, 80.

Таблица 75

Марки медных припоев

Марка	Область применения
M00	Для пайки ответственных деталей из углеродистых и коррозионностойких сталей, а также никелевых сплавов
M0	«
M1	«
M2	Для пайки менее ответственных деталей из тех же металлов

Таблица 76

Марки, химический состав и назначение медно-цинковых припоев (ГОСТ 23137-78)

Марка	Химический состав, % (массовые доли)				Область применения
	Основные компоненты		Примеси (не более)		
	медь	цинк	железо	свинец	
ПМЦ 36	34...38	Остальное	0,1	0,5	Для пайки латуни, содержащей до 69% меди

ПМЦ 48	46...50	«	0,1	0,5	Для пайки медных сплавов, содержащих медь свыше 68%
ПМЦ 54	52...56	«	0,1	0,5	Для пайки меди, тоипака, бронзы и стали

Таблица 77

**Марки оловянно-свинцовых припоев
(ГОСТ 21930-76 и ГОСТ 21931-76)**

Марка	Температура плавления, °С		Область применения
	начало	конец	
ПОС 90	183	222	Пайка деталей, подвергаемых гальванопокрытиям (серебрению, золочению), швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры
ПОС 61	183	185	Пайка меди, латуни, бронз, сталей, ответственных деталей в электро- и радиотехнике, приборостроении, когда соединяемые детали нельзя нагревать выше 200°С
ПОС 40	183	235	То же, а также пайка деталей с герметичными швами, оцинкованного железа
ПОС10	183	256	То же
ПОССу 18-2	183	277	Пайка ответственных деталей из меди, латуни и сталей
ПОССу 4-6	245	265	Лужение меди и железа, пайка ответственных деталей; так как швы обладают недостаточной пластичностью

Таблица 78

Марки магниевых припоев

Марка	Температура плавления, °С		Область применения
	начало	конец	
П430Mg	430	600	Пайка магния и сплавов марок МА1, МА2 и МА8

№1	435	520	То же
№2	398	415	Заделка мелких дефектов в отливках из сплава МЛ5

Таблица 79

Марки серебряных припоев общего назначения (ГОСТ 19738-74)

Марка	Температура плавления, °С		Область применения
	начало	конец	
ПСр 72	779	779	Пайка медных проводов и деталей приборов, когда место спая должно обладать высокой электропроводностью, а также пайка проводов и деталей вакуумных приборов и установок
ПСр 50	779	850	То же, но паяют при более высоких температурах
ПСр 70	730	755	Пайка меди, латуни и сталей (швы менее электропроводны, чем при пайке ПСр 72)
ПСр 65	740	—	Пайка сталей, меди, никеля и их сплавов (паяные швы обладают достаточно высокой прочностью и имеют серебристый цвет)
ПСр 45	660	725	Пайка сталей, меди, никеля и их сплавов
ПСр 25	745	775	Припой общего назначения
ПСр 40	595	605	Пайка стальных и медных деталей, работающих при повышенных температурах. При 600°С прочность паяных соединений на 20% выше, чем при пайке ПСр 45 и ПСр 25
ПСр 12М	780	825	Пайка сталей, меди, бронз и латуни
ПСр 10	815	850	Обладает пониженными технологическими свойствами

Таблица 80

Марки припоев на основе алюминия

Марка	Температура плавления, °С		Область применения
	начало	конец	
Силумин 34А	578 525	578 525	Пайка алюминия и сплавов АМц и АВ Пайка алюминия и сплавов АМц, АМг и АВ

П575А	570	620	Пайка алюминия и сплава Амц
36А	490	505	То же

Паяльный флюс – химически активное вещество, предназначенное для очистки и поддержания чистоты поверхностей паемого металла и припоя с целью снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания жидкого припоя.

К флюсам предъявляется ряд требований. Так, необходимо, чтобы флюс химически не взаимодействовал с припоем (кроме случаев реактивно-флюсовой пайки); очищал поверхности основного металла и припоя от присутствующих на них окислов и защищал соединение от воздействия окружающей среды во время пайки; имел температуру плавления ниже температуры плавления припоя; способствовал смачиванию поверхности основного металла припоем в расплавленном состоянии; сохранял свойства и не менял своего состава от нагрева при пайке; не вызывал сильной коррозии паяного соединения и не выделял при нагреве ядовитых газов.

В зависимости от температурного интервала активности паяные флюсы подразделяются на низкотемпературные ($t_{пл} \leq 450^\circ\text{C}$) и высокотемпературные ($t_{пл} > 450^\circ\text{C}$) (ГОСТ 19250-73).

Составы широко применяемых флюсов для низко- и высокотемпературной пайки и область их применения приведены в табл. 81.

Таблица 81

Составы паяльных флюсов

Компонент	Содержание компонента, %	Область применения
-----------	--------------------------	--------------------

Средне- и высокоплавкие припои

Бура	100	Пайка деталей из меди, бронзы, стали
Плавная бура	72	Пайка деталей из латуни
Поваренная соль	14	и бронзы, а также пайка серебром
Поташ кальцинированный	14	
Плавная бура	90	Пайка деталей из меди, стали и других металлов
Борная кислота	10	

Окончание табл. 81

Компонент	Содержание компонента, %	Область применения
Плавная бура	50	Пайка деталей из коррозионностойких и жаропрочных сталей
Борная кислота (разведенная в растворе хлоридного цинка)	50	
Бура	60	Пайка деталей из чугуна
Хлористый цинк	38	
Марганцово-кислый цинк	2	Пайка деталей из алюминия и его сплавов
Хлористый литий	38...26	
Фтористый кальций	12...16	
Хлористый цинк	8...15	
Хлористый калий	40...59	

Особолегко- и легкоплавкие припои

Хлористый цинк	10...30	Пайка деталей из стали, меди и медных сплавов
Вода	70...90	
Канифоль	100	Пайка деталей из меди и ее сплавов
Насыщенный раствор хлористого цинка в соляной кислоте	100	Пайка деталей из коррозионно-стойких сталей
Хлористый цинк	95	Пайка деталей из алюминия и его сплавов низкотемпературным припоем
Хлористый натрий	5	
Паста: насыщенный раствор цинка	34	Низкотемпературная пайка паяльной лампой
метанол	33	
глицерин	33	

Олово, свинец и сплавы на их основе относятся к мягким припоям. Ими паяют изделия почти из всех металлов. Оловянно-свинцовые припои выпускаются в виде чушек, прутков, проволоки, ленты, а также в виде трубок, заполненных флюсом. Выпускаются семь марок оловянных припоев с содержанием олова от 3 до 90% и температурой плавления от 185 до 265°C (табл. 82). Легирование припоев сурьмой позволяет снизить температуру плавления и повысить прочность сплавов. Также выпускается четыре марки припоев на свинцовой основе с содержанием серебра от 0,7 до 3,3% и температурой плавления 270...305°C.

Таблица 82

Химический состав оловянных и свинцово-серебряных припоев

Марка	Содержание компонентов, в %				
	Sn	Sb	Pb	Ag	Cd
ПОС 90	89...90	0,15	Остальное	—	—
ПОС 61	59...61	0,8	-//-	—	—
ПОС 50	49...50	0,8	-//-	—	—
ПОС 40	39...40	1,5...2	-//-	—	—
ПОС 30	29...30	1,5...2	-//-	—	—
ПОС18	17...18	2...2,5	-//-	—	—
ПОСС 4-6	3...4	5...6	-//-	—	—
ПСр 3	—	—	96...98	2,7...3,3	—
ПСр 2,5	5...6	—	91...93	22...2,8	—
ПСр 2	29...31	—	61,5...64,5	1,7...2,3	—
ПСр 1,5	14...16	—	82...85	0,7...2,3	4,5...5,5

Свинцово-серебряные сплавы поставляются в виде полос и проволоки (табл.83). Основные свойства мягких припоев при комнатной температуре приведены в табл. 84 и 85.

Таблица 83

Сортамент полос и проволоки из свинцово-серебряных сплавов

Размер полосы в мм			Проволока (минимальный вес отрезка в г / диаметр в мм)
толщина	ширина	длина	
0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0.	50; 100; 150; 200.	100; 150; 200; 300; 400.	10/0,3; 15/0,5; 25/0,8; 25/1,0; 30/1,2; 30/1,6; 40/2,0; 50/2,5; 50/3,0; 50/3,6; 50/4,0; 75/5,0.

Таблица 84

Основные свойства стандартных оловянно-свинцовых припоев

Свойство	Показатель по маркам						
	ПОСС 4-6	ПОС 18	ПОС 30	ПОС 40	ПОС 50	ПОС 61	ПОС 90
Плотность в г/см ³	10,7	10,23	9,69	9,31	8,9	8,54	7,57

Температура ликвигу- дуса в °С	265	277	256	235	210	185	220
Температура солиду- са в °С	245	183	183	183	183	183	183
Электросопротивле- ние в Ом×мм ² /м	—	0,22	0,182	0,17	0,156	0,145	—
σ _в в кг/мм ²	5,9	2,8	3,3	3,8	3,8	4,7	4,3
δ в %	23,7	26,6	44	52	54	34	25
ψ в %	—	52,2	78,8	86,7	—	55,7	—
σ _с в кг/мм ²	—	25,5	18,6	24,0	—	31,5	—
а _н в кг/см ²	—	3,86	4,67	4,75	4,59	3,8	1,85
НВ в кг/мм ²	14	10,5	10,1	13,7	14,9	12,6	13
τ _{ср} в кг/мм ²	3,58	2,5	3,4	3,7	4	4,2	2,7
Предел прочности шва при пайке в на- кладку в кг/мм ² :							
меди	2,4	3,8	2,7	3,7	—	3,5	—
латуни	3,0	3,8	2,8	4,6	—	3,5	—
железа	4,9	4,5	5,0	6,1	5,3	3,6	—
оцинкованного железа	2,6	4,0	4,2	4,7	—	3,0	—
Предел прочности при пайке встык в кг/мм ² :							
меди	7,3	8,6	9,1	7,8	—	9,7	—
латуни	7,7	6,4	8,8	8,0	9,4	8,0	—
железа	10,3	10,0	10,5	11,5	6,7	9,8	—

Таблица 85

Основные свойства стандартных свинцово-серебряных припоев

Свойство	Показатель по маркам			
	ПСр3	ПСр2,5	ПСр2	ПСр1,5
Плотность в г/см ³	11,3	11,0	9,6	10,4
Температура кристаллизации в °С:				
ликвидус	305	305	235	270
солидус	300	295	225	265
Удельное электрическое сопро- тивление в Ом·мм ² /м	0,20	0,22	0,17	0,20
σ _в в кг/мм ²	3,2	—	—	3,0

δ в %	45,0	–	–	47
ψ в %	82,0	–	–	82,5
НВ в кг/мм ²	9,5	–	–	16,0

Пластичность оловянных припоев при отрицательных температурах снижается; например, поперечное сужение припоев ПОС 90 и ПОС 61 при -253°С составляет только 1%.

Припой ПОС 90 применяют для наиболее ответственных соединений, когда предъявляются повышенные требования, в первую очередь по токсичности. В частности, этим сплавом паяют внутренние швы аппаратов и посуды, в которых содержатся пищевые продукты, медикаменты и вода.

Сплав ПОС 61 – наиболее легкоплавкий припой, и его используют для пайки радиотехнических и электротехнических приборов и аппаратуры, а также изделий, изготовленных из низкоплавких сплавов или закаленной стали.

Припой ПОС 50 применяют главным образом для пайки изделий из медных сплавов и белой жести, в том числе авиационных радиаторов, электрических счетчиков.

Припоем ПОС 40 паяют детали радиоприемников, физических приборов, изделий из оцинкованного железа, автомобильных и тракторных радиаторов.

Припой ПОС 30 имеет наиболее широкое применение для всевозможных соединений.

Припой ПОС 18 применяют для лужения вкладышей подшипников, заливаемых свинцовыми баббитами, в том числе марки БК2.

Малооловянистый припой ПОСС 4-6 применяют для лужения меди, сплавов на ее основе и железа.

Свинцово-серебряные припои марок ПСр 3, ПСр 2,5 и ПСр 1,5 имеют по сравнению со свинцово-оловянными более высокую температуру солидуса. Изделия, паяные этими припоями, могут работать при более высоких температурах.

Припои типа ПСр 3 не образуют хрупкого пограничного слоя при пайке меди, как это имеет место при оловянно-свинцовых припоях.

Пайку припоями ПСр 3 и ПСр 2,5 производят с помощью газовых горелок. Эти припои применяют главным образом для пайки изделий из меди и ее сплавов. Припой ПСр 3 используют для пайки электродвигателей, электрических приборов, радиаторов, охлаждаемых этиленгликолем, и в других областях.

Чистое олово применяют для лужения консервной жести, пищевых котлов, кухонной утвари, вкладышей подшипников, заливаемых баббитом марок Б83 и Б89, а также для пайки.

Свинец применяют для горячего свинцевания и пайки в тех случаях, когда применение олова необязательно. Для улучшения адгезии и прочности пайки к свинцу добавляют небольшие количества цинка или олова. В табл. 86 приводятся данные по прочности шва при пайке оловом и свинцом изделий из меди, латуни и железа.

Таблица 86

Прочность шва при пайке оловом и свинцом различных металлических материалов

Вид пайки и материал паяемых изделий	σ_b в кг/мм ²	
	оловом	свинцом

Пайка внакладку:

меди	4,6	1,9
латуни	4,5	2,0
железа	3,8	1,4

Пайка встык:

меди	9,0	3,6
------	-----	-----

Окончание табл. 86

Вид пайки и материал паяемых изделий	σ_b в кг/мм ²	
	оловом	свинцом
латуни	5,9	2,6
железа	7,9	1,9

Пайку алюминиевой проволоки, кабелей с алюминиевой оболочкой, а также алюминиевых изделий производят оловянным припоем марки А, содержащим 56...59% цинка и 1,5...3% меди (поставляются в виде полос толщиной 8...10 мм, шириной 10...15 мм и длиной 250...500 мм).

На основе олова, свинца, сурьмы, висмута, индия и других металлов приготавливают легкоплавкие сплавы с температурой плавления ниже 230°С. Наибольшее применение нашел легкоплавкий сплав (8,3% Sn; 22,6% Pb; 5,3% Cd; 53% Bi; 19,1% Zn) с температурой плавления 47,2°С и плотностью 8,95 г/см³. С помощью этого сплава осуществляют вакуумп-

лотные соединения стекла с металлами. С помощью сплавов свинца с оловом и кадмием производят пайку керамики с металлами.

14.3. Оборудование для пайки

Вид оборудования для пайки в основном характеризуется методом и источником нагрева.

Оборудование для печной пайки по методу нагрева подразделяется на электрические печи сопротивления, индукционные печи и установки, которые в свою очередь делятся на печи с контролируемой средой и вакуумные.

Электропечи с контролируемыми газовыми средами (водород или азотно-водородная смесь) оснащены устройствами для транспортирования паяных изделий (например, с шагающим подом), а в некоторых случаях – установками для приготовления газовых смесей. Примером конвейерной электропечи сопротивления является печь марки СКЗ-4.20.1,5/11,5-Х45М1, оснащенная камерой охлаждения и обладающая следующими параметрами: мощность – 85 кВт, температура рабочего пространства – 1150°C, нагрузка конвейерной ленты – до 130Н/м.

Наряду с электропечами непрерывного действия для пайки изделий широко используют колпаковые (марки ИО59.015, ЦЭП-241А, ЛМ-3360 и др.), элеваторные (марки СКБ-7018, СКБ-7049 и др.) и шахтные печи (марки ОКБ-3176А, СШЗ-8,40/10, Г95А и др.). Для пайки применяются также камерные электропечи унифицированных серий СН0 и СНЗ с металлическими нагревательными элементами, номинальной температурой 1000...1200°C – для широкой номенклатуры изделий в воздушной и контролируемой средах.

Вакуумные электропечи конструктивно выполняются непрерывного и периодического действия (колпаковые, элеваторные, муфельные и др.). Для создания вакуума используют механические вакуумные насосы типа ВН, создающие остаточное давление 1,3...0,13 Па, и диффузионные для получения остаточного давления $1,3 \times 10^{-3}$... $1,3 \times 10^{-5}$ Па. Вакуумные электропечи в основном используются для высокотемпературной пайки изделий и создают стандартные температуры 900, 1200, 1300, 1600, 2000 и 2500°C.

Индукционную пайку выполняют с использованием электронных высокочастотных генераторов типов ВЧГ и ВЧГЗ (мощностью 4...60 кВт), типа

ВЧИ (мощностью 10...100 кВт) и машинных генераторов типа ИЗ (мощностью 30...200 кВт). Электронные высокочастотные генераторы работают на частотах: 0,066; 0,44 и 1,76 МГц. Машинные генераторы обеспечивают токи частотой 2...15 кГц. Генераторы мощностью 4 кВт используются для поштучной низкотемпературной пайки. На генераторах мощностью 10 кВт паяют металлорежущий и буровой инструменты с поперечным сечением в зоне пайки до 5,0 см², а также тонкостенные ферромагнитные изделия. Генераторы, имеющие колебательную мощность 100...200 кВт, применяют при высокотемпературной пайке крупногабаритных изделий с наружным диаметром 140...200 мм. Эти генераторы используют при механизированной пайке, когда необходим запас мощности для создания интенсивного магнитного поля в зоне пайки при движении нагреваемых изделий через относительно длинные проходные индукторы. Индукционную пайку могут использовать как в воздушной, так и в контролируемой среде, в том числе с применением давления на соединяемые поверхности (до 4 МПа).

Пайку погружением в расплавленные припои разделяют на низко- и высокотемпературную. В свою очередь низкотемпературная пайка подразделяется на две разновидности: погружением непосредственно в расплав припоя и волной или струей припоя.

Наиболее широко для лужения и пайки изделий используют электрованны, представляющие собой корпус из коррозионностойкой стали, в котором размещен расплавленный припой.

Для производства печатных плат созданы линии, выполняющие комплекс операций: нанесение флюса, предварительный подогрев, нанесение припоя, удаление его излишков, мойку и сушку. На таких автоматических линиях печатные платы укладывают в магазин обрабатываемой поверхностью вниз и прижимают грузом. С помощью подающих роликов по направляющим они перемещаются над рабочими узлами линии, вначале над ванной, где флюс с 5%-ным раствором соляной кислоты наносится вращающимися щетками. Затем припой (сплав Розе) наносят волновым способом с помощью индукционного нагревателя. В ванне с расплавленным припоем установлен ракель из термостойкой резины для снятия его излишков.

На установке для пайки погружением в расплавы солей в соляных ваннах изделия нагреваются непосредственно или косвенно. При непосредственном нагреве в зависимости от состава солей изделия паяют с

применением припоев и без припоя. В последнем случае роль припоя выполняют продукты реакции самой соли с паяемым материалом.

В случае косвенного нагрева изделия помещают в контейнер, объем которого заполняют контролируемой газовой средой.

Печи-ванны по конструктивному оформлению подразделяют на тигельные, электродные однофазные с циркуляцией соли, прямоугольные электродные и электродные трехфазные (табл. 87).

Таблица 87

**Технические данные соляных печей-ванн
для высокотемпературной пайки**

Параметр	С-50	В-20	С-45	С-35	СКБ-5152
Номинальная мощность, кВт	50	20	45	35	120
Максимальная рабочая температура, °С	600	850	1300	1300	1300
Размеры тигля, мм	600x900	Ø300	Ø340	220x420	950x250
Глубина тигля, мм	450	535	600	—	475
Производительность, кг/ч	100	80	200	30	140

Пайку металлоемких изделий производят в прямоугольных печах-ваннах С-50, СКБ-5152 и др.

Для пайки изделий в интервале температур 850...1200°С используют печи-ванны типа СВС-100/13 исполнения М.01, которые обладают высокой производительностью и рекомендуются для крупносерийного и массового выпуска изделий.

При пайке погружением в расплавы солей с целью стабилизации температуры необходим предварительный подогрев изделий: для этого применяют камерные электропечи, индукционный нагрев, а также специальные нагревательные печи типа ПАП. Для пайки активных металлов герметичный контейнер с изделиями, в который подается контролируемая среда, погружают в ванну с расплавленной солью, нагретой до заданной температуры. При таком способе можно осуществлять пайку не только в газовой среде, но и в вакууме. Если в первом случае представляется возможным использовать контейнер с песочным затвором и неполным погружением, то при пайке изделий в вакууме контейнер выполняют цель-

носварным либо со съёмным фланцем для полного или частичного его погружения.

Ручные клещи для пайки электросопротивлением нашли применение для соединения сравнительно немассивных деталей. При больших объемах выпуска изделий из разнотолщинных элементов или конструкций из материалов, имеющих разные теплофизические свойства, чаще всего применяют сварочное оборудование – машины для контактной сварки.

Машины для пайки электросопротивлением. Для пайки изделий в зависимости от толщин соединяемых элементов и теплофизических свойств материалов применяют различные сварочные машины (табл. 88).

Таблица 88

**Технические данные однофазных
точечных машин переменного тока**

Параметр	МТ-1222	МТ-1223	МТ1617	МТ1618
Мощность, кВт	60	85	110	100
Сила первичного тока, А	154	224	296	264
Сила сварочного тока, кА	12,5	12,5	16,0	16,0
Пределы изменения коэффициента трансформации	83-166	56-125	60-89	56-125
Вылет электродов, мм	500	500	500	500
Максимальный раствор электродов, мм	220	300	370	320
Усилие сжатия, Н	6180	15680	6180	6180
Общий ход электрода, мм	80	100	50	80
Расход воздуха, м ³ /10 ² циклов	0,6	0,6	0,8	0,6
Расход охлаждающей воды, л/ч	600	700	700	700

В зависимости от свойств паяемых материалов и размеров соединяемых элементов подбирают соответствующие электроды. Наибольшее распространение получили угольные электроды марок ЭГ-2, ЭГ-8 и др., а также электроды из хромистой меди, вольфрама и жаростойких сплавов.

Гибридные интегральные схемы паяют методом плавления покрытия-припоя в полуавтоматическом режиме на установке МС-64П2-1. Установка обеспечивает регулируемое давление электрода на колонку нагревателя в диапазоне 1...10 Н, нагрев электрода в пределах 150...450°С. Производительность установки – около 1000 кристаллов в час.

Пайка материалов с использованием концентрированных источников энергии (инфракрасного излучения и излучения лазера, сфокусированного светового и электронного луча) является одним из важнейших направлений развития ряда областей техники. Основное преимущество этого способа – отсутствие тепловой инерции источника, локальность и быстрота нагрева и вытекающая отсюда возможность точного регулирования параметров процесса пайки.

Установки с инфракрасным излучением. Тепловое (инфракрасное) излучение с длинами электромагнитных волн 0,4...40 мкм применяют при различных способах нагрева под пайку, в том числе и локальном, где тепловой поток сконцентрирован.

Для высокотемпературной пайки изделий из тонкостенных деталей сравнительно простой формы применяют установки с кварцевыми лампами. В зависимости от конфигурации и конструкции паемых изделий рефлекторы с кварцевыми лампами устанавливают с одной или нескольких сторон. Такие установки могут быть с нагревом в вакууме, в контролируемой и воздушной средах. В последнем случае установки используют для соединения деталей легкоплавкими припоями из-за ограниченной стойкости кварцевого стекла ламп при нагреве до высоких температур на воздухе.

В зависимости от конструкций нагревательных установок применяют кварцевые иодные лампы накаливания в различном исполнении. Наиболее часто используют прямые лампы инфракрасного нагрева.

В качестве источников лучистой энергии наряду с лампами могут служить металлические радиационные нагреватели. Например, на многопозиционной установке типа УПТ для пайки тонкостенных трубопроводов металлический нагреватель выполнен разъемным и охватывает непосредственно место соединения.

Процесс пайки электронным лучом основан на использовании энергии ускоренных электронов, быстро перемещающихся в вакууме в результате разности потенциалов между катодом и анодом. При торможении ускоренных электронов вблизи паемой поверхности их кинетическая энергия превращается в тепловую. Процесс характеризуется кратковременностью и высоким КПД.

Пайку узлов из керамики и тугоплавких металлов с местным нагревом осуществляют с применением электронно-лучевых установок с пушкой типа У250А.

Для пайки изделий с местным нагревом применяют установки типа ЭЛУ-4 с пушкой ЭЦ-60/10. Для исключения перегрева и оплавления кромок изделия, а также обеспечения равномерного прогрева зоны пайки электронный пучок колеблется в результате подачи на отклоняющую систему пушки импульсов синусоидальной или пилообразной формы от генератора НГПК-3М.

Установка «Луч-3» предназначена для пайки трубчатых конструкций из высокоактивных металлов и сплавов с нагревом кольцевым электронным пучком, получаемым в высоковольтном тлеющем разряде при температурах до 2000°С.

Технические характеристики установки «Луч-3»:

- потребляемая мощность – 15 кВт;
- ускоряющее напряжение – 20 кВ;
- сила тока пучка – 300 мА.

Лазерные установки. Излучение оптического квантового генератора (лазера) характеризуется рядом уникальных свойств: большой интенсивностью потока электромагнитной энергии, высокой монохроматичностью, значительной степенью временной и пространственной когерентности. Вследствие этого лазерное излучение отличается от других источников электромагнитной энергии очень узкой направленностью.

В зависимости от конструктивных особенностей и массы паемых изделий, а также свойств соединяемых материалов используют лазерные установки различной мощности (К-3М – 1кВт; УЛ-2М – 2,5кВт; Луч-1М – 3,0 кВт; УЛ-20 – 5кВт; Кван-10 – 12кВт).

Установки для пайки световым лучом. Концентрированный нагрев, сфокусированный лучистой энергией, обладает рядом преимуществ, основными из которых являются бесконтактный подвод энергии к изделиям за счет удаления источника от объекта нагрева, возможность передачи энергии через оптически прозрачные оболочки как в контролируемой среде, так и в вакууме и, что особенно важно для процессов пайки, нагрев различных материалов независимо от их электрических, магнитных и других свойств с широкими пределами регулирования и управления параметрами.

Оптический источник теплоты, представляющий собой эллипсоидный отражатель в сочетании с дуговой ксеноновой лампой, наиболее перспективен для пайки изделий с регулированием энергетических параметров за счет изменения формы и размеров пятна нагрева.

Для пайки узлов электровакуумных приборов используют установки с оптической головкой, выполненной на базе ксеноновой газоразрядной лампы высокого давления ДКСР-5000М мощностью 5 кВт.

Максимальная температура, получаемая в фокусе оптической системы установки, составляет 1400...1600°C, диаметр фокальной области 6...15 мм, продолжительность процесса пайки 3...5 мин. В установке могут быть использованы также лампы ДКСР-3000М и ДКСШ-1000, которые имеют меньшую мощность.

Устройства для пайки электрической дугой. Высокая температура электрической дуги позволяет использовать ее для пайки проводов, узлов, приборов и двигателей, а также ленточных пил и других узлов с большой скоростью и этим предотвратить окисление припоя и металла шва. Дуга может гореть между двумя угольными электродами, закрепленными в оправах приспособления, с подводом в нее паяемых узлов небольших размеров или между угольным электродом и паяемым изделием.

При пайке горючими газами и парами широко применяется инжекторная горелка типа «Москва». Безынжекторную горелку микромощности ГС-1 применяют для низко- и высокотемпературной пайки изделий из различных материалов небольшой толщины.

К горелкам малой мощности относят инжекторные горелки «Малютка», ГС-2, «Звездочка», которые используют для ацетилено-кислородной пайки конструкций небольших размеров, изготовленных из черных и цветных металлов.

В производстве изделий средних размеров целесообразно использовать инжекторные универсальные ацетилено-кислородные горелки «Москва», ГС-3, «Звезда», которые работают на ацетилене низкого и среднего давления.

Наряду с рассмотренными горелками для газопламенной пайки применяются и другие. Так, для пайки с использованием жидкого горючего используют керосино-кислородную горелку ГКР-1-67, обеспечивающую широкий диапазон регулирования мощности пламени.

Для пайки небольших по размерам и массе деталей используются паяльники электрические, которые представляют собой стержень из меди или специального медного сплава, имеющего электронагреватель с изолятором.

Температура нагревателя составляет 700°C, температура жала – 260...340°C. Электрические паяльники выпускаются на различные напря-

жения: 220В, 127В, 36В, 24В, 12В и 6В. Конструктивное исполнение паяльников различно для пайки массивных узлов, пайки печатного монтажа, для демонтажа с импульсным отсосом припоя, для пайки микросхем. Нагревательные элементы выполняются преимущественно в виде спирали, в основном из нихромовой проволоки. Температуру жала можно регулировать изменением питающего напряжения.

Ультразвуковое лужение применяют для покрытия поверхностей алюминия и его сплавов, керамики, ферритов, сталей и других материалов легкоплавкими припоями. Абразивное лужение используют в некоторых случаях для нанесения легкоплавких припоев на поверхности алюминиевых деталей.

Для ультразвукового лужения применяют ультразвуковые паяльники или ультразвуковые ванны (табл. 89).

Таблица 89

Технические данные ультразвуковых электропаяльников

Параметр	УП-21	УП-42
Рабочая частота, кГц	20	23...26
Мощность, Вт:		
генератора	40	30
нагревателя	100	170
Напряжение, В	110; 127; 220	220
Частота питающего тока, Гц	50	50
Масса, кг:		
генератора	14	11
паяльника	1,0	0,9

Примечание: Установку УП-21 комплектуют ванной размерами 288х200х162 мм.

Для ультразвукового лужения часто используют паяльники без нагревателей. При работе с ними в качестве источника теплоты применяют газопламенные горелки, электрические плиты и другие источники. Особенно эффективен этот способ для лужения алюминиевых изделий под пайку.

В качестве специальных источников нагрева используют:

- термитные шашки – нагрев проводится за счет горения термитной смеси;

- нагревательные блоки – нагрев места пайки происходит от массивных блоков, предварительно нагретых или имеющих внутри себя нагреватели;

- электронагревательные маты (стеклоткань с вмонтированными электронагревателями) применяются для пайки изделий сложной конфигурации; используются в производстве панелей с сотовым наполнителем.

14.4. Особенности пайки различных металлов

Все припои для высокотемпературной пайки можно разбить на следующие группы: медные, медно-цинковые, серебряные, медно-фосфористые.

Медные припои применяют для пайки стали, преимущественно в печах с защитной атмосферой. *Медно-цинковые* – при пайке стали, чугуна, меди, бронзы и никеля.

Лучшие результаты дает припой марки ЛОК 62-06-04, содержащий 60...63% меди; 0,3...0,4% олова; 0,4...0,6% кремния, остальное – цинк. Его температура плавления – 905°C, предел прочности – 45 кгс/мм².

Серебряные припои можно применять при пайке всех черных и цветных металлов, кроме алюминия и цинка, имеющих более низкую температуру плавления, чем припой. Температура плавления серебряных припоев – 720...870°C.

Медно-фосфористые припои находят широкое применение в электропромышленности. Их используют только для пайки меди и латуни.

Припои низкотемпературной пайки готовят на основе оловянно-свинцовых сплавов различного состава. В зависимости от содержания олова (Sn) используют припои марок от ПОС 90 (89...90% Sn) до ПОС 18 (17...18% Sn).

Для низкотемпературной пайки применяют также сурьмянистые припои марки ПОСС-4-6.

Для пайки алюминия в качестве низкотемпературных припоев рекомендуются сплавы: 50% – Zn, 45% – Sn, 5% – Al и 25% – Zn, 70% – Sn, 5% – Al. Соединения, паяные низкотемпературными припоями, обладают низкой коррозионной стойкостью, что ограничивает их применение для деталей, работающих в воде или влажном воздухе. Для высокотемпературной пайки алюминия и его сплавов рекомендуются припои, содержащие 10...12% Si; 0,7% Fe, остальное – Al, с температурой плавления

577°C; и припой состава 28% – Cu, 6% – Si, 66% – Al, с температурой плавления 525°C.

При газопламенной пайке применяются флюсы в виде порошков, пасты и газа. Основой большинства флюсов при твердой пайке является бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$). Для усиления действия флюса к буре часто добавляют борную кислоту, благодаря которой флюс становится более густым и вязким, требующим повышения рабочей температуры. Для понижения рабочей температуры флюса, что особенно важно для легкоплавких припоев, вводят хлористый цинк (ZnCl_2), фтористый калий (KF) и другие щелочные металлы.

Перед пайкой соединяемые детали тщательно очищают от загрязнений, окислов, жира и др. Порошкообразные флюсы насыпают тонким слоем на очищенные кромки, причем часто применяют предварительный подогрев кромок с тем, чтобы частицы флюса плавились, прилипали к металлу и не сдувались пламенем горелки при пайке. Порошкообразный флюс наносят также на конец прутка припоя. Пасты и жидкие растворы наносят на поверхность соединяемых деталей кистью или обмакивают в них припой. При пайке наибольшее применение получили нахлесточные соединения. Зазор между соединяемыми поверхностями должен быть минимальным, а при пайке серебряными припоями – 0,05...0,03 мм.

Техника пайки подготовленного соединения сводится к нагреву его до температуры плавления припоя, введения и расплавления припоя. Обычно пайку производят нормальным пламенем.

При пайке *медно-цинковыми припоями* рекомендуется применять пламя с избытком кислорода. Нагрев ведут широкой частью пламени. Для равномерного прогрева горелкой совершают колебательные движения вдоль шва. После того как флюс, предварительно нанесенный на кромки, расплавится и заполнит зазоры, а изделие прогреется до необходимой температуры, начинают вводить припой. Для гарантии полного заполнения зазора припоем после прекращения подачи припоя горелкой еще некоторое время подогревают место спая. После окончания пайки спай должен медленно остывать, остатки флюса после пайки необходимо тщательно удалять. Для полного удаления флюсов изделие погружают в 10%-ный раствор серной кислоты с последующей промывкой водой. Брак, возникший при пайке, может быть исправлен. Для этого необходимо нагреть деталь до температуры плавления припоя и разъединить спаянные эле-

менты. После этого заново зачистить соединяемые поверхности и повторно произвести пайку.

При пайке составного инструмента (резцов, сверл, фрез и др.) с державками из стали 40Х или инструментальной типа У7 применяют медно-цинковые и серебряные припои. Нагрев под пайку осуществляют газовыми горелками, в печах, токами высокой частоты и в солевых ваннах. Пайку инструмента в солевых расплавах ведут при температурах 1150...1200°C, охлаждают на воздухе до 900...1000°C, а затем охлаждают до 500...600°C в ваннах с расплавом хлористых солей (бария –30%, натрия –22%, кальция –48%), после чего охлаждают на воздухе до комнатной температуры и промывают водой до полного удаления остатков солей. При печной пайке пластину из быстрорежущей стали помещают в паз державки, флюсуют и загружают в камеру, нагретую до температуры 750...800°C. После выгрузки из камеры закладывают припой, снова флюсуют и помещают в печь для пайки. Спаянные детали выгружают, охлаждают на воздухе, а затем при температуре 560°C проводят отпуск, после чего инструмент очищают. С использованием токов высокой частоты паяют зенкеры, развертки, метчики.

Пайку твердосплавных пластинок с державкой обычно осуществляют нагревом токами высокой частоты или погружением в расплавленный припой. В последнем случае пайку совмещают с термообработкой. Закалочной средой для сплавов марок ВК8 и Т15К6 служит расплав едкого калия (70%) и едкого натрия (30%). Перед пайкой собранный узел обрабатывают в кипящем насыщенном растворе буры (для вольфрамовых пластин) или в 35%-ном водном растворе фтористого калия (для титанокарбидных пластин). При пайке инструмента используются медно-цинковые припои, легированные никелем, марганцем или алюминием.

Оловянистые бронзы можно паять оловянно-свинцовыми, серебряными и медно-цинковыми припоями. Пайка высокооловянистых бронз медно-цинковыми припоями нежелательна ввиду близости температуры пайки к температуре плавления паяемых материалов. Пайку осуществляют любым известным способом.

Пайку титана и его сплавов ведут в вакууме или в среде аргона при температуре 800...900°C. В качестве основы припоя часто выбирают серебро, которое образует с титаном менее хрупкие интерметаллиды, чем с другими металлами. Иногда за основу припоя берут алюминий. Для получения более пластичных и прочных соединений применяют диффузион-

ную пайку титана, для чего на поверхность изделия наносят тонкие слои никеля, меди, цинка, железа, кобальта, серебра или их комбинаций.

Низкотемпературную пайку магниевых сплавов проводят по предварительно нанесенным покрытиям легкоплавких металлов (меди, никеля, серебра и др.) в вакууме (10^{-2} Па) или активной газовой среде (смесь аргона и азота, активированная парами хлористого аммония) при температуре 100...500°C с применением оловянно-свинцовых припоев или галлиевых паст. Высокотемпературную флюсовую пайку магния проводят при температуре 450...600°C с использованием припоев на основе магния, обычно методом погружения в расплавленный припой.

Пайкой можно соединять металлы с полупроводниками, минералокерамикой, стеклами, фарфором, кварцем, графитом, ферритом, ситаллом и др. Вследствие различия физико-химических свойств и состава металлов и неметаллических материалов природа связи в паяных швах более сложная, чем в соединениях между металлами. Так как неметаллические материалы, подвергающиеся пайке, состоят в основном из оксидов (Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , LiO_2 и др.) и практически не смачиваются металлическими припоями, то пайка их требует особых приемов.

Пайку неметаллических материалов с металлами осуществляют, используя:

- активные припои с индием, титаном, цирконием, обеспечивающие одновременно смачиваемость металла и неметаллического материала;
- нанесение на паяемую поверхность покрытий-металлов, хорошо смачиваемых металлическими припоями;
- в качестве припоев легкоплавкие стекла, глазури или эмали.

Керамика обычными металлическими припоями не смачивается, поэтому ее поверхность предварительно натирают индиевым припоем (обслуживают поверхность ультразвуковым паяльником с титановым накопчиком) или производят напыление хорошо смачиваемого металла (Cu, Ni, Ag, Au). Также используется втирание графита в шероховатую поверхность керамики с последующим нанесением электролитическим способом этих же металлов и вжигание (870°C) стеклянной фриты, состоящей из порошка стекла и серебра. Затем производится низкотемпературная пайка. В отдельных случаях применяют вжигание в керамику (1100...1650°C) оксидов меди, никеля, серебра и других, наносимых на керамику в виде порошка или пасты, в водородной среде, обычно в электропечах конвейерного типа. Наиболее широко для пайки применяется

припой ПСр 72. Пайка легкоплавкими стеклами, глазуриями или эмалями осуществляется при температуре 1000°C в электропечах с обыкновенной атмосферой, так как эти расплавы хорошо смачивают керамику и окисленные металлы.

Пайка металла со стеклом осуществляется аналогично пайке металла с керамикой галлиевым припоем (Ga – 39,6%, Sn – 4,4%, Cu – 56%).

При пайке кварца с металлом на кварц наносятся пленки меди, никеля, серебра, золота (гальванически, напылением, вжиганием) и по покрытиям проводится пайка паяльником малооловянистыми припоями с применением жидких флюсов.

Для пайки керамики, стекла, кварца с металлом также возможно применение активной пайки, суть которой сводится к способности некоторых металлов (титана, циркония и др.) восстанавливать металлы из оксидов (Al_2O_3 , SiO_2 , BeO, Cr_2O_3 и др.). Поэтому эти металлы (в количестве около 10%) вводят в любые высокотемпературные припои и производят пайку. Пайка может осуществляться в среде азота, в вакууме и атмосфере.

Глава 15. СКЛЕИВАНИЕ И ОКРАСКА МАТЕРИАЛОВ

15.1. Подготовка материалов к склеиванию и окраске

Технологические процессы склеивания и окраски схожи между собой. Основное отличие состоит в том, что клеевой слой находится между соединяемыми поверхностями и охватывает незначительные площади (хотя при ремонте корпусов судов, больших резервуаров и др. площади могут быть значительными). Нахождение клеевого слоя между поверхностями существенно влияет на условия его отверждения, требует приложения определенного давления и др. Поэтому ниже мы будем подчеркивать особенности склеивания материалов и обобщать схожесть процессов склеивания и окраски.

Типичный процесс склеивания (окраски) можно разделить на следующие основные стадии:

- превращение клеящего (красящего) вещества в состояние, пригодное для нанесения на поверхность материала (растворение, расплавление, частичная полимеризация и др.);
- подготовка склеиваемых (окрашиваемых) поверхностей материалов (придание шероховатости, различные виды химической, механической обработки и др.) и нанесение клеящего (окрашивающего) вещества;

- создание условий для отверждения клеевого (окрашенного) слоя, отвечающего предъявляемым требованиям условий эксплуатации (температурный режим, время выдержки при заданной температуре, давление, время выдержки без давления и под давлением и т.д.).

Прочностные свойства клеевых соединений и лакокрасочных покрытий определяются не только высокой адгезией клея и краски, но и состоянием поверхности склеиваемых (окрашиваемых) материалов. На поверхности могут быть дефекты: трещины, микрокапилляры, загрязнения, продукты коррозии и старая краска, заусеницы и т.п., наличие которых приводит к неоднородной активности по отношению к клею или краске. Поэтому необходима предварительная подготовка соединяемых (окрашиваемых) поверхностей материалов.

Обычно применяют следующие способы подготовки поверхности (см. гл.11,12): *механические* – обработка механизированным инструментом, галтовка, обработка сухим абразивом, гидроабразивная очистка; *химические* – обезжиривание в водных растворах и в органических растворителях, травление, одновременное обезжиривание и травление, фосфатирование, пассивирование, анодирование и др.; *физические и физико-химические* – обработка ультразвуком, электрическим полем, тлеющим и коронным разрядом в среде инертных газов и др.; *термические методы обработки*.

Обработка механизированным инструментом пригодна для удаления дефектов (заусенцев, старой краски, продуктов коррозии). При мокрой галтовке стальных деталей к абразивным материалам добавляется 2...3%-ный раствор каустической соды, тринатрийфосфата или серной кислоты. После обработки детали тщательно промывают и просушивают. При обработке сухим абразивом стальной и чугунный песок используют для очистки только стальных поверхностей. При гидроабразивной обработке в жидкую среду добавляют ингибитор коррозии (1%-ный раствор кальцинированной соды). После обработки, промывки в 0,2%-ном растворе хромпика или нитрида натрия, просушки детали желательнее подвергнуть пассивации.

Методы очистки с помощью реактивов, вступающих в химическое взаимодействие с поверхностью материала, требуют погружения обрабатываемой детали в камеру или ванну. Исключение составляют пасты, которые накладывают на обрабатываемые поверхности. Перед травлением в кислых растворах жировые загрязнения удаляются. При травлении чер-

ных металлов применяются ингибиторы коррозии. Слабую ржавчину удаляют обработкой в 2-3%-ном растворе фосфорной кислоты при 75...80°C, образующаяся после обработки пленка фосфата железа улучшает адгезию. Крупногабаритные изделия обрабатываются пастами, состоящими из воды, ингибиторов коррозии, серной, соляной и фосфорной кислот, сульфита целлюлозного щелока, нефтяного контакта и трепела. Паста наносится слоем 1...2 мм и удаляется через 30...40 мин. Обезжиривание в щелочных растворах осуществляется с добавкой поверхностно-активных веществ – эмульгаторов ОП-7, ОП-10 и др. Изделия из олова, свинца, алюминия и цинка обезжиривают в растворах солей с меньшей свободной щелочью (углекислый натрий, углекислый калий, жидкое стекло). Обезжиривание органическими жидкостями производится в соответствующих ваннах или протиркой. Одновременное обезжиривание и травление достигается путем введения в травильные составы поверхностно-активных веществ, которые эмульгируют жировые вещества и тем самым очищают поверхность. Наиболее эффективен струйный метод очистки давлением жидкости 1,5...2,5 кг/м². Фосфатирование применяется как метод подготовки поверхностей углеродистых сталей и цинка. При обработке алюминиевых сплавов широко применяется метод анодного оксидирования. Кроме защитных свойств оксидная пленка обладает также высокими адгезионными свойствами.

Подготовка к склеиванию (окраске) стекла химическим методом заключается в обработке его аппретами (органические производные кремния и хлора, например винилтрихлорсилан).

Адгезионную способность неполярных полимеров (полиолефинов, фторопластов и др.) повышают с помощью химической модификации их поверхности. Для этого их подвергают действию химически активных веществ и окислителей, прививке реакционно-способных групп, обработке пламенем или электрическим разрядом. Для химической обработки полиолефинов (полиэтилен, полипропилен) применяют газообразный хлор, хлористый сульфурил (SO₂Cl₂), озон, перекись водорода, смесь азотной и соляной (3:1) кислот, хромовую смесь. Обработка полиолефинов окислителями повышает смачиваемость их поверхности за счет образования на ней гидроксильных, карбонильных и других полярных групп. Этот же метод можно использовать для обработки лавсана и полистирола. На лавсан иногда наносят эфиры ортотитановой кислоты. Поверхность фторопластов имеет очень низкую адгезию, поэтому зачастую ее обрабатывают

щелочными и щелочноземельными металлами в жидком аммиаке или органических растворителях, а также в расплавах солей.

Для улучшения адгезии поверхности резин и каучуков, содержащих большое количество пластификаторов, применяют ионную обработку (обрабатываемые поверхности погружают на 20...100 с в ванну, содержащую 7%-ный раствор бромиды и бромата калия и 7%-ный раствор серной кислоты). На 1 м² поверхности расход раствора составляет 2 л. После травления в ванне обработанную поверхность резины нейтрализуют в растворе щелочи и сульфита натрия, промывают водой и просушивают.

Наиболее дешевыми и распространенными растворами для обезжиривания являются водные растворы синтетических моющих средств, пригодные для обработки поверхностей как металлов, так и неметаллов. Они обладают высокой обезжиривающей и смачивающей способностью, оказывают защитное действие, являясь ингибиторами коррозии. Газопламенная очистка применяется для удаления окалина, ржавчины и старой краски, а также нефтепродуктов с поверхности крупногабаритных изделий. В результате нагрева и последующего охлаждения окалина и ржавчина разрушаются и легко удаляются механическими способами очистки. Газопламенная обработка полимеров, особенно неполярных (полиолефинов), приводит к изменению структуры поверхностного слоя и термоокислению.

Ультразвуковая обработка поверхностей материалов является достаточно дорогостоящей, но очень эффективной для обработки деталей сложной конфигурации. Для мелких деталей используется частота 100...300 кГц, для крупных – 15...30 кГц.

Для активации поверхности полимеров используют обработку их в электрическом поле. Этот способ применяют для пленок из полиолефинов, фторопласта, полиамидов, лавсана и др. Пленку пропускают в зазор между двумя электродами, на которые падает высокое напряжение.

При обработке полимерных пленок тлеющим или коронным разрядом в среде нейтральных газов с их поверхности удаляются низкомолекулярные вещества (например, водород). В результате этого образуются насыщенные (двойные) связи и поперечные сшивки между макромолекулами полимерной пленки, которые улучшают их адгезионную способность.

Более подробно о способах подготовки и обработки поверхностей см. в гл. 11, 12.

Для предохранения поверхностей, подготовленных к склеиванию и окраске, а также улучшения их смачиваемости, применяют адгезионные грунты (праймеры). Их использование увеличивает долговечность клеевых соединений и лакокрасочных покрытий (особенно в условиях высокой влажности). Обычно адгезионные грунты представляют собой разбавленные растворы смол и эмалей, которые входят в состав соответствующих клеев и красок. Если нужно защитить часть детали от клея или краски, то на ее поверхность наносят антиадгезионный слой. Это могут быть кремнийорганические жидкости или смазки, растворы силиконовых каучуков или суспензия низкомолекулярного фторопласта в хладоне (обычно во фреоне). Некоторые из них выпускаются в аэрозольной упаковке, что облегчает способ нанесения слоя. Иногда для защиты поверхности материала сразу после изготовления на нее наносят защитный удаляемый слой. Это может быть бумага (например, для защиты органического стекла), нейлоновая или стеклоткань, пропитанная связующим. После удаления защитного слоя не требуется обезжиривания и повторной обработки поверхности.

15.2. Факторы, определяющие прочность склеивания и окраски

Для получения прочного соединения пленки клея или краски с поверхностью материала необходимо знать адгезионные свойства клея (краски) и зависимость этих свойств от физических и физико-химических характеристик исходного материала клея (краски), условия эксплуатации, структуру и состояние склеиваемых (окрашиваемых) поверхностей.

Адгезионная прочность материала клея (краски) зависит от числа концевых реакционно-способных функциональных групп, которые могут вступить в реакции со склеиваемой поверхностью. Чем больше число этих групп и чем короче цепные молекулы, тем выше адгезионная прочность соединения, хотя длинноцепные молекулы обеспечивают лучшую пластичность. Поэтому для получения оптимальной прочности соединения требуется сочетание высоко- и низкомолекулярных фракций исходного материала клея (краски).

Введением наполнителей можно регулировать вязкость клея (краски), его пропитывающие свойства, создавать определенную толщину пленки, уменьшать внутренние напряжения, выравнивать физические свойства

материала клея (краски) и склеиваемого (окрашиваемого) материала. Наполнители могут быть как активными (влиять на адгезию), так и неактивными. Введение наполнителей придает клеям (краскам) специфические свойства: тепло- и электропроводность, теплостойкость, электросопротивление и диэлектрические свойства, негорючесть, стойкость к действию низких или высоких температур и др.

Адгезия зависит как от свойств клея (краски), так и от структуры и состояния поверхности склеиваемого (окрашиваемого) материала. Установлено, что при склеивании металлов в большинстве случаев наблюдается снижение прочности клеевых соединений в следующем порядке: сталь, алюминиевые сплавы, латунь, медь. На адгезионную прочность, например, эпоксидного и акрилатного клеев заметно влияют легирующие добавки к стали. В случае склеивания (окрашивания) полимерных материалов следует учитывать полярность, которая определяется их строением. Неполярными называются полимеры, имеющие симметричное построение молекул (дипольный момент равен нулю), например, макромолекула полиэтилена $[-CH_2-CH_2-]_n$. В полярных полимерах электронная плотность распределена несимметрично, т.е. положительные и отрицательные заряды смещены друг относительно друга (например, макромолекула поливинилхлорида $[-CH_2-CHCl-]_n$).

К полярным полимерам также относятся: эпоксидные, фенолоформальдегидные, мочевиноформальдегидные, полиэфирные смолы (олигомеры), полиамиды, полиуретаны и материалы на их основе (см. гл. 2). Все они хорошо склеиваются между собой и с другими материалами многими клеями.

При склеивании (окрашивании) неполярных полимеров возникают трудности, которые преодолеваются специальной подготовкой поверхности (см 15.1).

Керамика, стекло, феррит, древесина, бумага, кожа, ткань и другие материалы имеют достаточно полярную поверхность, поэтому трудностей при склеивании (окрашивании) не вызывают.

При склеивании надо учитывать, что полярные материалы склеиваются полярными клеями, а неполярные – неполярными. При склеивании двух разнородных материалов клей должен иметь сродство с обеими склеиваемыми поверхностями и содержать различные по полярности и реакционной способности функциональные группы.

Прочность соединения клея (краски) с материалом существенно зависит от температуры эксплуатации. Так, при температуре свыше 100°C наблюдается падение прочности большинства термореактивных клеев, термопластичные же разрушаются при более низкой температуре (40...80°C). Наиболее стойки к действию повышенных температур неорганические полимеры, но они обладают невысокой адгезией. Полиуретановые и модифицированные эпоксидные клеи могут эксплуатироваться при низких температурах. Для режима многократного резкого перепада температур рекомендуются клеи на основе эпоксидно-фенольных соединений. Высокую атмосферостойкость имеют фенолокаучуковые композиции. Для работы в условиях повышенной влажности рекомендуется использовать гидрофобные наполнители. Большинство термореактивных композиций стойко к действию масел, растворов солей, кислот и щелочей, органических растворителей.

Для предохранения окрашенных (склеенных) поверхностей от действия коррозии и развития микроорганизмов в краски (клеи) вводят специальные ингибиторы, восстановители или преобразователи ржавчины и ядовитые вещества (фунгициды).

Прочность клеевого соединения существенно зависит от продолжительности и скорости приложения нагрузки и от типа клеевого соединения (внахлест, встык, с накладками, втулка-отверстие и др.). При изгибающих нагрузках в краску (клей) добавляют пластификаторы с тем, чтобы избежать появления трещин и снизить хрупкость пленок (при этом возможно снижение прочности клеевого соединения).

15.3. Нанесение клея и формирование клеевого слоя

Исходное состояние клеев может быть различным: жидкое, пастообразное и твердое. Клеевую композицию можно наносить на склеиваемые детали как вручную, так и с помощью специальных приспособлений. Количество наносимой массы обычно составляет от 100 до 300 г/м² и зависит от вида клея и состояния склеиваемой поверхности. Равномерная толщина нанесения клеевой композиции – первооснова успешного склеивания. Большинство клеев наносится при температуре воздуха 15...25°C с относительной влажностью до 75%.

Если клей имеет жидкую консистенцию, его наносят кистью, валиком, распылителем или окунают деталь в раствор. Для создания нужной тол-

щины клеевой пленки клей наносят в несколько слоев, предварительно подсушивая каждый предыдущий слой выдержкой времени, причем последующий слой желательно наносить под прямым углом к предыдущему.

Нанесение клея на пленочные, листовые и волокнистые материалы осуществляется с помощью лакировальных и пропиточных машин. В лакировальной машине рулон пленки (бумаги, ткани) пропускают между валками, один из которых погружен в раствор клея. Затем пленка проходит через сушильную камеру и сматывается в рулон или сразу идет на припрессовку с другой пленкой или основой (например, нанесение полимерной пленки со слоем прозрачного клея на обложку книги или открытку).

Нанесением ворса в электрическом поле на ткань с клеем производят искусственный мех и синтетические ковры. Приклеивание полимерных пленок к металлической фольге и бумаге позволило создать новые упаковочные материалы (например, тетрапакеты).

При производстве гетинакса, текстолита, стеклотекстолита, фольгированных изделий, декоративных слоистых пластиков используют пропиточную машину, в которой волокна, бумага, ткань и др. пропускаются через ванну с клеем и высушиваются от растворителя. Пропитанный клеем материал нарезается в листы, собирается в пакет и запрессовывается в многослойных прессах при повышенной температуре.

Вязкий пастообразный клей обычно наносится шпателем. При этом клеевая композиция (зачастую содержащая наполнители) вдавливаются в поры и неровности поверхности склеивания. Клеи-расплавы можно наносить на предварительно нагретые выше температуры плавления клея материалы, подготовленные для склеивания. Для термопластичных клеев-расплавов рекомендуются приспособления, представляющие собой трубку с соплом, на которой крепится подогреватель (с регулировкой по температуре) и рукоятка. Брикет клея соответствующего диаметра помещается внутрь трубки и после подогрева выдавливается поршнем через сопло.

Пленочный клей, обладающий липкостью, прикатывают к поверхности склеиваемого материала холодным или разогретым валиком.

Порошкообразные и жидкие клеи можно наносить в электростатическом поле. Для этого к распылителю подают высокое напряжение, а деталь заземляют. Заряженные частицы клея равномерно распределяются по

поверхности, а излишек собирается пылеуловителем. Толщина клеевой пленки регулируется скоростью перемещения распылителя или детали.

Время до момента соединения склеиваемых поверхностей зависит от типа клея. Для жидких клеевых композиций делают открытую выдержку клеевого слоя. Испарение испарителя может протекать как при комнатной, так и при повышенной температуре. Время сушки обычно составляет 15...60 мин, после чего детали соединяют друг с другом и обеспечивают усилие прижима на определенный период времени. При нанесении клея в несколько слоев возможно применение сушки со ступенчатым подъемом температуры.

Клеевую пленку из растворов и дисперсий термопластичных клеев обычно наносят в один слой на каждую склеиваемую поверхность. Например, для клея ПВАД время сушки слоя клея составляет от 2 до 10 мин при комнатной температуре. Затем склеиваемые детали прижимают друг к другу под давлением 0,3 МПа и выдерживают при температуре $25 \pm 10^\circ\text{C}$ от 1 до 1,5 сут. При необходимости прессования давление повышают до 5 МПа. Склеивание поролона с деревом осуществляется без приложения давления.

Клеевой слой из клея-расплава формируется несколькими способами. Расплавленный клей можно нанести на холодные склеиваемые поверхности и тут же прижать их друг к другу. Эффективнее наносить клей на подогретые поверхности, при этом он лучше растекается и проникает в поры и неровности. Можно нанести расплавленный клей на поверхности, создать давление и нагреть соединяемые детали до температуры плавления клея и затем, не снимая давления, охладить до температуры отверждения клея.

Создание давления при склеивании обеспечивает не только лучшее проникновение клея в поры поверхностей, но и фиксирует требуемое соединение деталей. Для этого применяют грузы, резьбовые соединения, струбцины, пружинные приспособления, вакуум и прессы. Величина давления при склеивании обычно лежит в пределах от 0,01 до 1,0 МПа (иногда до 5 МПа) и подбирается в каждом конкретном случае склеивания.

За исключением клеев холодного отверждения, для всех остальных термореактивных клеев требуется нагревание. Отверждение при повышенных температурах проводят в термостатах, печах, между обогреваемыми плитами пресса, путем облучения и др.

Влияние температуры и давления на прочность клеевых соединений носит сложный характер. Повышение температуры при склеивании вызывает снижение вязкости расплава, возрастание текучести и диффузии молекул к поверхности, что благоприятствует достижению более высокой адгезии. С повышением температуры увеличивается скорость реакции в клеевой композиции и между клеем и склеиваемой поверхностью и снижается продолжительность формирования клеевых соединений. При более высоких температурах прочность снижается в результате деструкции полимеров и недостаточности времени смачивания поверхности.

Увеличение давления сопровождается увеличением числа контактов между молекулами клеевой композиции и склеиваемой поверхности, при этом поры и неровности поверхности заполняются клеем, а толщина клеевой пленки снижается. Недостаточное давление образует пористое, непрочное соединение неравномерной толщины с наличием в клеевой пленке пузырьков воздуха и низкомолекулярных продуктов реакций отверждения. Под излишним давлением образуется тонкая («голодная») склейка. Требуемая толщина клеевой пленки для различных клеев различна. Так, для мочевиноформальдегидных клеев для уменьшения внутренних напряжений рекомендуется тонкий слой – толщиной до 0,1 мм. В то же время для эпоксидных клеев толщина клеевого слоя не играет особого значения.

При отверждении клеевой композиции возникают остаточные напряжения в клеевых соединениях. На эти напряжения влияют: исходный материал клеевой композиции, испаряемость растворителя, разность коэффициентов линейного расширения соединяемых материалов и адгезива и др. Для снижения остаточных напряжений увеличивают время остывания и прессования склеенного изделия, добавляют в клеевые композиции пластификаторы и модификаторы и др. Другими словами, правильно подбирают как состав клеевых композиций, так и режим склеивания.

15.4. Нанесение лакокрасочных покрытий

Лакокрасочные покрытия наносят: пневматическим краскораспылителем (холодное и с подогревом), окунанием, обливом, струйным обливом с последующей выдержкой в парах растворителей, распылением в электрическом поле, безвоздушным распылением или кистью.

Выбор метода (табл. 90) зависит от размеров и конфигурации изделия, количества изделий, заданного класса отделки, количества слоев покрытия и вида лакокрасочного материала.

Таблица 90

Выбор метода нанесения

Окрашиваемый объект	Метод нанесения	Характеристика метода
Мелкие и среднего размера изделия различной несложной конфигурации	Окунание	Экономичен, производителен, возможна механизация. Не обеспечивает высокого класса покрытия
Мелкие, среднего и крупного размера изделия простой и сложной конфигурации	Струйный облив с поддержкой в парах растворителей. Пневматическое распыление: - без подогрева, - с подогревом	Экономичен, производителен, автоматизирован, обеспечивает хороший внешний вид. Сокращает количество слоев за счет получения большей толщины покрытия за один слой. Производителен. Значительны потери лакокрасочного материала (до 30...40%), неавтоматизирован. Применение подогретых лакокрасочных материалов сокращает расход растворителей до 30...40%, уменьшает количество слоев. Хороший внешний вид покрытия
Изделия простой и сложной конфигурации. Решетчатые конструкции, трубы (внешняя поверхность)	Электроокраска	Высокая производительность, полная автоматизация, сокращение потерь материалов до 3...5%. Хороший внешний вид покрытия
Средние, крупные и особо большие изделия различной конфигурации	Безвоздушное распыление	Высокая производительность (до 300 м ² /ч), экономичен по сравнению с пневматическим способом. Хороший внешний вид покрытия
Изделия различных размеров	Кисть	Малопроизводителен. Необходим для окраски мест, недоступных для

и конфигураций

других методов окраски. Непригоден для нанесения быстросохнущих материалов

Окраска пневматическим краскораспылителем широко применяется в промышленности для нанесения покрытий на изделия любых размеров и конфигураций.

Мелкие капельки краски (аэрозоль) силой сжатого воздуха направляются на окрашиваемую поверхность, часть их отражается от поверхности и не используется.

Окраска в электрическом поле основана на том, что микрочастишки жидкого лакокрасочного материала, заряженные отрицательным зарядом в поле постоянного тока высокого напряжения, двигаясь по силовым линиям электрического поля, осаждаются равномерным слоем на поверхности окрашиваемого изделия, находящегося под положительным потенциалом.

Окраска производится на конвейере автоматически с использованием перхлорвиниловых, нитроцеллюлозных, меламиноалкидных, алкидных, масляных, битумных, эпоксидных и мочевиновых лакокрасочных материалов. При использовании нитроцеллюлозных и перхлорвиниловых материалов во избежание взрыва в электрическую схему обязательно включают искропредупреждающее устройство. Метод пригоден для окраски металлических, деревянных, пластмассовых, резиновых и стеклянных изделий простой и сложной конфигурации, желательна однотипной конструкции. Внутренние полости и глубокие «карманы» не прокрашиваются.

Применение электроокраски повышает производительность за счет полной автоматизации процесса; улучшает санитарно-гигиенические условия работы в малярном цехе, экономит лакокрасочные материалы за счет более полного осаждения красочного «тумана» (до 90% и более) на окрашиваемую поверхность.

Качество окраски зависит от диэлектрических свойств лакокрасочного материала и отладки процесса. Улучшение диэлектрических свойств достигается введением в лакокрасочные материалы соответствующих растворителей.

Окраска методом окунания заключается в погружении изделия в лакокрасочный материал определенной вязкости, после чего изделие вынимается из ванны и избыток краски стекает с окрашиваемой поверхности.

Этот метод пригоден для окраски, грунтовки, лакировки изделий простой и сложной конфигурации размером не более 3000...4000 мм. Изде-

лия должны иметь обтекаемую форму (прутки, листы, угольники и т.п.), обеспечивающую равномерное стекание излишка краски, и не иметь карманов и неровностей, где могла бы задерживаться краска.

Метод позволяет полностью механизировать процесс нанесения покрытия и окрашивать как внутренние, так и внешние поверхности. К его недостаткам относятся: образование подтеков и неравномерность толщины пленки покрытия (на верхней части изделия она всегда тоньше, чем на нижней), необходимость значительных объемов лакокрасочных материалов, представляющих опасность в пожарном отношении.

Окраска обливом осуществляется вручную или механически, а избыток материала сливается в приемник и используется вторично. Для получения качественного покрытия необходимо тщательно регулировать вязкость наносимого материала. Рекомендуются для нанесения грунтовочного покрытия и для изделий, не требующих высокого качества отделки.

Окраска струйным обливом с последующей выдержкой в парах растворителей заключается в том, что изделие после облива лакокрасочным материалом поступает в камеру, где создана определенная концентрация паров растворителей. Это обеспечивает равномерное стекание излишка краски и получение ровного покрытия без подтеков и наплывов. Излишек краски поступает в производство, благодаря чему непроизводительные потери лакокрасочного материала минимальны. По сравнению с окраской пневматическим распылением этот метод в 2...3 раза сокращает потери краски.

Удельный расход краски составляет при окраске окунанием 70%, при окраске струйным обливом – 85%, качество окраски и внешний вид хорошие.

Струйный облив рекомендуется для окраски изделий различной конфигурации размером до 4000 мм. Обязательным условием является возможность попадания краски на окрашиваемую поверхность и ее стекание. Метод позволяет полностью автоматизировать окраску на конвейере в массовом производстве. Его недостатки: невозможность многоцветной окраски в одном агрегате и необходимость больших производственных площадей.

Окраска безвоздушным распылением под большим давлением и с подогревом основана на свойстве лакокрасочного материала при определенной скорости истечения из сопла (выше критической) дробиться на мельчайшие капельки. Нагретую краску (лак) под давлением 40...60 кг/см² по-

дают к соплу, проходя которое, она обретает скорость выше критической при данной вязкости.

Нагрев снижает вязкость краски и способствует лучшему ее распылению за счет образования паров растворителей. Метод экономичен, высокопроизводителен по сравнению с пневматическим способом, уменьшает удельный расход краски на 25% и уменьшает расход растворителей. При его применении требуется меньшая вентиляция и снижаются затраты на оборудование окрасочных камер. Создается также возможность (благодаря малому туманообразованию) окраски изделий вне камер при наличии достаточного общего воздухообмена. Качество покрытия – высокое (глянцевое, беспористое, равномерное по толщине).

Метод рекомендуется для окраски особо больших поверхностей при серийном и единичном производстве.

Окраска электроосаждением основана на перемещении частичек пигментированного водорастворимого лакокрасочного материала на металлическую поверхность детали под влиянием электрического заряда. Окраска производится в ванне с водорастворимым грунтом или эмалью, где анодом является окрашиваемая деталь, а катодом – стенки ванны. Метод позволяет окрашивать изделия любых размеров, полностью автоматизирован, обеспечивает минимальные потери материала при высоком качестве покрытия. Безопасен и безвреден.

Зачастую перед нанесением лакокрасочного покрытия изделие подогревают до определенной температуры, при этом адгезия между покрытием и поверхностью увеличивается, однако при этом предъявляются определенные требования к консистенции и вязкости краски. После нанесения лакокрасочного покрытия осуществляют его сушку

Различают два вида сушки: естественную при 15...35°C и искусственную при 80...200°C. Искусственная сушка осуществляется конвекционным способом (детали нагревают горячим воздухом или продуктами сгорания в специальных сушильных камерах) или терморadiационным способом (изделие облучается инфракрасными лучами, проникающими через пленку лакокрасочного покрытия и поглощаемыми металлом детали). В результате нагрева металла сушка покрытия начинается с нижних слоев и распространяется к поверхности. Метод обеспечивает беспрепятственное улетучивание растворителей, что ускоряет процесс сушки. В качестве источников инфракрасного излучения применяют генераторы, выполненные

в виде трубчатых или панельных нагревательных элементов, а также специальные лампы накаливания.

Достоинством терморрадиационных сушильных установок является: высокое качество получаемой пленки покрытия, экономичность, быстрота нагрева установки и сушики; недостатки – трудность регулирования температуры разогрева поверхности деталей сложной конфигурации, особенно имеющих стенки различной толщины.

Качество пленки лакокрасочного покрытия и время его высыхания зависят от температуры сушики. Некоторые виды лакокрасочных материалов вообще пригодны для высыхания только при температуре 150...180°C. С повышением температуры длительность высыхания резко сокращается (рис. 51, а). Одновременно с этим снижается влагонабухаемость (рис. 51, б) и повышается твердость пленки покрытия (рис. 51, в).

Применение горячей сушики улучшает адгезию пленки, стойкость к действию органических растворителей, кислот, щелочей и других веществ.

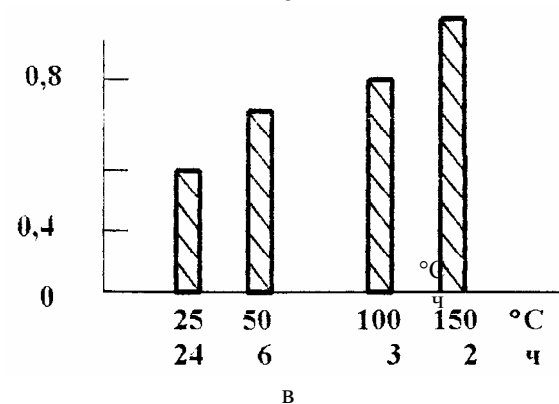
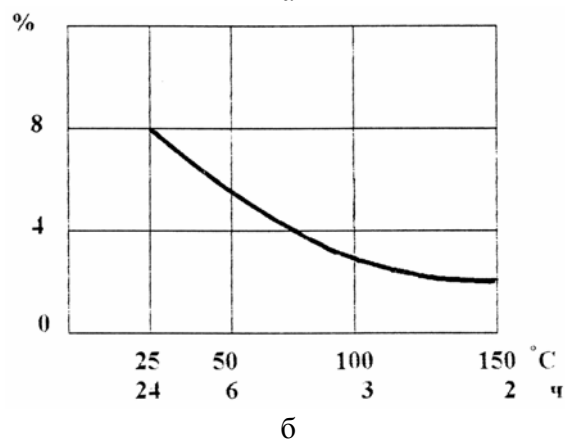
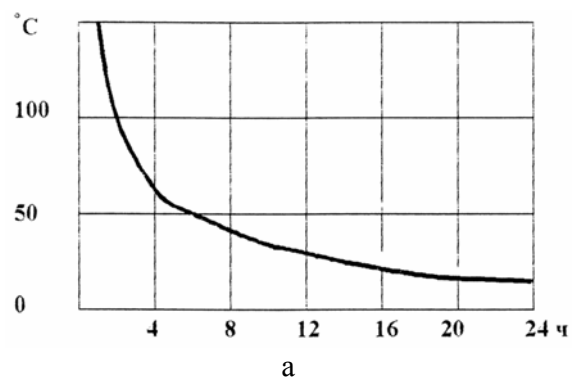


Рис. 51. Влияние температуры сушки на время (а) сушки, влагонабухание (б) и твердость (в) пленки алкидной эмали

Раздел III ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

Глава 16. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

16.1. Техника безопасности при обработке материалов резанием

Постоянно работающие металлообрабатывающие станки должны быть установлены на прочных фундаментах или общем основании пола, тщательно выверены и закреплены. Все станки (постоянные или переносные) обслуживаются только закрепленными за ними лицами. Выключение станка обязательно при смене инструмента, установке, закреплении и снятии заготовки, ремонте, чистке, смазке и уборке станка.

При обработке на станках тяжелых деталей, например блоков цилиндров двигателей, необходимо пользоваться подъемными средствами.

Станки, работа на которых приводит к образованию осколков, стружки или искры, оборудуют удобными в эксплуатации предохранительными устройствами с достаточно прочным стеклом или другим прозрачным материалом для наблюдения за процессом обработки. Если по техническим условиям предохранительные щитки поставить невозможно, то на станках работают в защитных очках.

Металлообрабатывающие станки и другое оборудование устанавливают в помещениях таким образом, чтобы они не загромождали главные проходы и двери. Расстояние между отдельными станками должно быть не менее 0,8 м, этого достаточно для прохода рабочих при обслуживании и ремонте станков.

Необходимо ограждать: ременные и зубчатые передачи; все выступающие движущиеся части станков, находящиеся на высоте до 2 м от пола; обрабатываемые движущиеся предметы, выходящие за габариты станка.

Стружку от станка нельзя убирать руками, для этого используют щетки и крючки.

Высоту укладки изделий в штабеля определяют исходя из устойчивости штабеля и удобства пользования. Максимальная высота штабелей – 1,5 м.

Все эксплуатируемое оборудование должно находиться в полной исправности. За его состоянием осуществляется постоянный контроль со стороны технического руководства.

При приемке из ремонта в акте необходимо оговорить наличие на станке всех оградительных устройств и их исправность. Работа на неисправных станках и с неисправными ограждениями запрещается.

Станочники должны работать в хорошо застегнутой одежде. Волосы, особенно у женщин, должны быть закрыты головным убором (фуражкой, косынкой, беретом, сеткой и др.).

При обработке пруткового материала на револьверных станках и токарных автоматах выступающие за шпиндель части прутков ограждаются. Зачистка деталей наждачным полотном, зажимаемым руками, запрещается.

Необходимо следить за надежностью крепления заготовок (деталей), которое во многом зависит от состояния центров и центровых отверстий и соответствия центров выполняемой работе. При работе с изношенными центрами и неверно выполненными центровыми отверстиями обрабатываемая заготовка под действием сил резания может быть вырвана из центров.

Правку шлифовальных кругов осуществляют алмазами, алмазно-металлическими карандашами или алмазозаменителями (металлическими звездочками, кругами, брусками из карбида кремния или дисками). Правка кругов зубилом или каким-либо другим слесарным инструментом недопустима. Запрещается также при обработке деталей шлифовальными кругами применять рычаги для увеличения давления на круг. При установке на шпинделе шлифовального станка двух кругов их диаметры не должны отличаться более чем на 10%. Для работы можно использовать только испытанные на прочность круги; резцы, фрезы и другой режущий инструмент должен быть надежно закреплен.

Перед началом работы необходимо проверить станок на холостом ходу и только затем надежно закрепить заготовку и приступить к ее обработке.

Запрещается облакачиваться или опираться на станок, класть на него инструменты, заготовки и готовые изделия.

При обработке древесных материалов на круглопильных станках для продольной распиловки, рейсмусовых, четырехсторонних продольно-фрезерных (строгальных) и некоторых других станках большую опасность представляет обратный выброс из станка заготовок или обрезков. Поэтому станки должны быть снабжены противовыбрасывающими устройствами, а станочник при подаче заготовок должен находиться сбоку от места подачи.

Лезвийный инструмент должен быть тщательно и правильно заточен, а пилы и фрезы правильно разведены и защищены кожухами от случайного прикосновения.

При обработке древесных материалов и пластиков образуется много пыли. Рабочие места должны быть снабжены приточно-вытяжной или вытяжной вентиляцией. Из-за высокой температуры резания также выделяются ядовитые газы, особенно при обработке пластиков. В этих случаях возможно применение респираторов.

Образовавшиеся в результате обработки материалов стружку и опилки необходимо регулярно убирать с рабочего места.

Ленточные пилы для распиливания металла ограждают по всей длине ленты прочными полосами или бугелями.

Верстаки из металла и дерева для слесарных работ должны иметь жесткую и прочную конструкцию и быть достаточно массивными, чтобы не качаться и не вибрировать при работе на них. Верхнюю крышку верстака делают из хорошо пригнанных досок толщиной 40...50 мм, которые обивают листовым железом. Ширина двухсторонних верстаков 1,2...1,5 м. В середине верстака предусматривают сетку высотой 0,8 м для предохранения рабочих от ранения отлетающими при рубке кусочками металла. Ширина односторонних верстаков 0,6...0,8 м. С точки зрения безопасности предпочтительнее одноместные верстаки, но для экономии площади ремонтные производства часто оборудуют многоместными верстаками. Высота верстаков должна быть такой, чтобы губки тисков находились на уровне локтя работающего.

Стеллажи для хранения деталей должны иметь небольшой уклон полок внутрь и быть удобными по высоте для укладки деталей.

Пол на рабочем месте слесаря оборудуют решетчатым настилом с расстоянием между планками 25...30 мм.

Поражение электрическим током может произойти в случае прикосновения к металлическим частям оборудования, которые из-за некачественной изоляции электропроводки или ненадежного заземления могут оказаться под напряжением.

В сухих помещениях опасным для человека считается напряжение выше 36 В. Смертельной является сила тока 0,1 А, а ток 0,05 А вызывает судорожное сокращение мышц, не позволяющее человеку оторваться от источника поражающего напряжения.

Для предупреждения поражения работающих электрическим током необходимо предусмотреть надежное заземление всех частей оборудования, которые могут оказаться под напряжением, осуществить качественную изоляцию соединительных проводов и оградить все доступные для прикосновения токоведущие части оборудования.

В случае перерыва в подаче электрического тока или выхода из строя одной фазы все электроприборы и электродвигатели должны быть немедленно выключены.

При загорании проводов или электроприборов следует немедленно их обесточить и гасить сухим углекислотным огнетушителем и покрывалом из асбеста. Применять воду запрещается.

Искры статистического электричества, возникающие при трении, дроблении, перемешивании порошков, при переливании жидкостей, могут быть источником пожара и взрыва. Для отвода статического электричества все металлические части аппаратов должны быть заземлены.

При поражении электрическим током необходимо отключить прибор или оторвать провод от человека нетокопроводящим предметом (палкой), проверить пульс пострадавшего и приступить в случае необходимости к искусственному дыханию, сообщить о случившемся в медпункт.

При получении травмы на производстве пострадавшему должна быть немедленно оказана медицинская помощь. Первая помощь, оказываемая на производстве, заключается в остановке кровотечения, перевязке раны или ожога, освобождения пострадавшего от действия электрического тока, проведении искусственного дыхания и др. В аптечке первой помощи на каждом участке или в каждой бригаде должны быть йод, бинты, нашатырный спирт, марганцово-кислый калий, жгут и др.

При воспалении слизистой оболочки глаз следует наложить на глаза повязку (вату), смоченную в холодной воде или в 2%-ном растворе борной кислоты и перевести пострадавшего в темное помещение.

Первая помощь при ожогах заключается в смазывании обожженного участка спиртом или раствором марганцово-кислого калия с последующим наложением повязки с любым несоленым жиром. При тяжелых ожогах одежду и обувь нужно снимать осторожно, лучше их разрезать; после наложения повязки пострадавшего необходимо отправить в больницу.

При отравлении ядовитыми газами первая помощь заключается в удалении пострадавшего из загазованного помещения. При отравлении ядовитыми газами появляется головная боль, головокружение, тошнота, рвота, теряется сознание. В этих случаях пострадавшего укладывают на свежем воздухе, расстегивают одежду, дают нюхать нашатырный спирт, растирают кожу, дают подышать кислородом и при необходимости делают искусственное дыхание. При отравлении свинцом и его соединениями во рту появляется металлический привкус, язык приобретает беловатую окраску. При отравлении свинцом промывают желудок 1%-ным раствором английской или глауберовой соли.

При обработке пластмасс и древесины возникает возможность появления пожара или взрыва, которая определяется как факторами присутствия легковоспламеняющихся материалов (стружки, опилок, лаков, красок и др.), так и несоблюдением норм пожаробезопасности (несвоевременная уборка отходов, неисправность в работе вытяжной вентиляции, неисправности в работе электрооборудования и др.).

Для предупреждения возникновения пожаров запрещается курить на рабочих местах, пользоваться открытым огнем или выполнять операции, которые могут вызвать появление искр. При удалении стружки и опилок необходимо особенно тщательно сметать (или удалять пылесосом) их с элементов электрооборудования. Запрещается сушить спецодежду, лесоматериалы и другие воспламеняющиеся предметы на приборах отопления, производственных и отопительных печах.

Рабочие места, где имеется повышенная опасность возникновения пожара, должны быть снабжены огнетушителями, ящиками с песком и емкостями с водой.

Бывшие в употреблении обтирочные материалы, концы, тряпки и т.п., пропитанные горючими веществами, необходимо складывать в специальные металлические ящики с крышками.

Смазочные материалы, горючие жидкости, химикаты должны храниться в специальных изолированных помещениях или металлических ящиках и шкафах.

Соблюдение требований техники безопасности труда является обязанностью каждого рабочего. Таким образом, рациональная организация рабочих мест, введение передовой технологии, соблюдение правил трудового распорядка, соблюдение правил техники безопасности, производственной санитарии и противопожарной безопасности позволят добиться на предприятиях работы без травматизма.

16.2. Техника безопасности при химической и гальванической обработке материалов

Основные процессы химической и электрохимической обработки осуществляются в ваннах, заполненных различными растворами кислот, щелочей, солей и их смесями. Технологический процесс сопровождается выделениями в воздушную среду аэрозолей серной и соляной кислот, едких щелочей, оксида азота, паров азотной и соляной кислот, цианистого водорода и других вредных веществ.

Такие операции, как шлифование, полирование, гидropескоструйная и дробеструйная обработка, галтовка, гарцовка, сопровождаются выделением пыли.

Нормализация воздушной среды в цехах гальванопокрытий может быть достигнута путем использования технологических мероприятий и рационального применения вентиляции. Так, укрытие поверхностей растворов в ваннах пластмассовыми шариками или пеной позволяет существенно снизить выделение вредных веществ с поверхности растворов и сократить расход вентиляционного воздуха.

Высокая токсичность выделяющихся вредных веществ вызывает необходимость создания устройств местной вытяжной вентиляции от большинства ванн травления и гальванопокрытий.

Наиболее широкое применение в современных цехах находят местные вытяжные устройства типа бортовых отсосов. При ширине ванн более 1,2 м следует применять отсосы, активированные приточными струями. При этом повышается эффективность отсоса и требуются значительно меньшие расходы воздуха. Рекомендуемые скорости всасывания воздуха приведены в табл. 91.

Таблица 91

Рекомендуемые скорости всасывания воздуха

Выполняемая операция	Вредные выделения	Скорость всасывания, м/с
----------------------	-------------------	--------------------------

Термическая обработка

Закалка и отпуск в масляной ванне	Пары масла и продукты его разложения	0,3
Закалка в селитровой ванне при температуре 400...700°C	Аэрозоль селитры, тепло	0,3
Закалка в соляной ванне при 350...1100°C	Аэрозоль соли, тепло	0,5
Свинцевание при 400°C	Пары и аэрозоль свинца	1,5
Цианирование в солях при 800...900°C	Пары и аэрозоль свинца	1,5

Гальваническая обработка металлов

Кадмирование цианистое или серебрение, меднение цианистое	Пары синильной кислоты	1,5
Обезжиривание: бензином	Пары бензина	0,5
хлорированными углеводородами	Пары углеводородов	0,7
электролитическое	Аэрозоли щелочей	0,5
Травление: азотной кислотой	Пары азотной кислоты	1,0
соляной кислотой	Пары хлористого водорода	0,7
Хромирование	Аэрозоли ангидрида хромовой кислоты	1,5
Цинкование цианистое	Пары синильной кислоты	1,5

Окончание табл. 91

Выполняемая операция	Вредные выделения	Скорость всасывания, м/с
----------------------	-------------------	--------------------------

Другие операции

Пескоструйная очистка	Силикатная пыль	1,5
Металлизация напылением	Аэрозоли металлов	1,5

Пайка свинцом	Пары и аэрозоли свинца	0,5...0,7
Операции с особо токсичными веществами	Бериллий, теллур, радио-активные вещества и др.	2...3
Расфасовка сыпучих материалов, смешивание	Пыль	0,5...1,2

Для улавливания вредных веществ, выделяющихся с поверхности обрабатываемых деталей при выемке их из ванны, применяются отсасывающие панели, установленные на уровне, на котором подвешены вынутые из ванны детали.

При больших габаритных размерах обрабатываемых предметов, когда ванны обслуживаются мостовыми кранами, удаление выделяющихся паров у мест их образования становится затруднительным. В этом случае применяют общеобменную вентиляцию с удалением загрязненного воздуха из верхней зоны крышными вентиляторами.

При приточно-вытяжной вентиляции объем приточного воздуха должен быть меньше вытяжки из ванного отделения на 5%, если оно примыкает к помещениям, не имеющим выделений вредных веществ, и сообщается с ними дверьми или другими проемами. В случае, когда это количество воздуха в смежном помещении больше, чем однократный воздухообмен, необходимо предусматривать принудительную подачу воздуха в смежное помещение из расчета компенсации 5% расчетного воздухообмена в гальваническом или травильном отделении.

Приготовление растворов для травления поверхности металлов и полимеров связано с использованием едких веществ, поэтому рабочий обязан пользоваться предохранительными очками, резиновыми перчатками, сапогами и прорезиненными передниками.

При приготовлении растворов серной кислоты необходимо приливать кислоту к воде тонкой струей при непрерывном перемешивании, чтобы не было местного перегрева и выброса кислоты.

При поражении слизистых оболочек или кожи кислотами рекомендуется промывание водой и 2...3%-ным раствором пищевой соды, при поражении щелочами – обильное промывание водой и 1...2%-ным раствором борной кислоты.

Подготовку металлического натрия для натрийнафталинового комплекса во избежание ожога следует проводить в фарфоровой ступке под слоем керосина ножом из цветного металла. В случае попадания металлического натрия на кожу следует промыть пораженное место большим ко-

личеством воды, обработать 5%-ным раствором борной кислоты и смазать мазью от ожогов.

Рабочие, использующие кислоты, щелочи, купоросное масло, каустическую соду и другие аналогичные жидкости, во избежание ожогов глаз и тела должны работать в предохранительных очках, перчатках (рукавицах) и соответствующей специальной одежде. При работе с летучими растворителями надевают респираторы (РПГ-67, РУ-60М, «Лепесток», «Снежок»), а при работе с токсичными веществами – противогазы (ЗПС-80, ЗП2-60, ЗН4-72, ЗН8-72 и др.), спецодежду и обувь. Защита кожного покрова осуществляется нанесением на кожу защитных паст (ИЭР-2, С 42-95-72, Чумакова) и кремов (ПМС-200, ПМС-400, «Красная роза», «Силиконовый»). После работы и снятия защитных мазей и паст рекомендуются препараты «Кристалл» и «Прогресс».

Все работающие должны знать составы, с которыми им приходится контактировать, а также признаки поражения химическими веществами, действия и порядок применения различных противоядий, правила оказания первой помощи.

16.3. Техника безопасности при сварке и пайке материалов

К электросварочным и наплавочным работам допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование и специальное обучение, имеющие удостоверение на право выполнения указанных работ и группу по электробезопасности не ниже второй.

Все сварщики, выполняющие дуговую и газовую сварку, должны ежегодно проходить проверку знаний на своих предприятиях с продлением срока действия удостоверения на право выполнения сварочных работ.

Дуговая сварка. Правильное и рациональное размещение рабочего места сварщика имеет большое значение в повышении безопасности сварочных работ, производительности труда и качества сварки. В целях защиты сварщиков, подсобных и вспомогательных рабочих от лучистой энергии горящих поблизости сварочных дуг в постоянных местах сварки для каждого сварщика устраивают отдельные кабины площадью [2х2 или 2х3] м (не считая площади, занятой оборудованием) и высотой 1,8...2 м. Для улучшения вентиляции стены кабины не доводят до пола на 15...20 см. Материалом стен кабин может служить тонкое железо, фанера, брезент, покрытие огнестойким составом, или другие огнестойкие материа-

лы. Дверной проем, как правило, закрывается брезентовым занавесом на кольцах. Стены окрашивают в светлые матовые тона.

При ручной дуговой сварке в кабине сварщика устанавливают сварочный стол или кондуктор, настенную полку для мелкого инструмента и приспособлений, стул со спинкой и другое оборудование. Кабина оборудуется местной вентиляцией.

Для предохранения глаз и лица сварщика от вредного воздействия дуги необходимо использовать щитки или маски со специальными светофильтрами в зависимости от силы сварочного тока: Э-1 при силе тока до 75А, Э-2 при 75...200 А, Э-3 – 200...400А, а также ЭС-100, ЭС-300, ЭС-500.

В целях исключения попадания под напряжение при замене электродов сварщик обязан пользоваться сухими брезентовыми рукавицами, которые одновременно защищают его руки от расплавленного металла и лучистой энергии дуги.

Большое значение для безопасности сварщика имеет проверка правильности подведения проводов к сварочным постам и оборудованию.

Прокладка проводов к сварочным машинам по полу или земле, а также другим способом, при котором провода не защищены изоляцией и доступны для прикосновения, не разрешается. Ток от сварочных агрегатов к месту сварки передается гибкими изолированными проводами, чаще всего марки ПРГД.

Перед началом работ электросварщик обязан надеть специальную одежду – брезентовый костюм, ботинки и головной убор.

При сварке и наплавке деталей под флюсом режим работы должен быть таким, чтобы сварочная дуга была полностью закрыта слоем флюса. Убирают флюс флюсоотсосами, совками и скребками.

Сварочную дугу при вибродуговой наплавке и сварке закрывают специальными устройствами, в которых должно быть предусмотрено смотровое окно со светофильтром нужной плотности.

Газовая сварка. При выполнении газовой сварки соблюдаются те же правила безопасности, что и при дуговой. Однако при газовой сварке необходимо следить, чтобы в радиусе 5 м от рабочего места отсутствовали горючие материалы. Сварку емкостей разрешается выполнять лишь при удалении из них следов легковоспламеняющихся веществ и при открытых люках и пробках.

В местах хранения и вскрытия барабанов с карбидом кальция запрещено курить и применять инструмент, дающий при ударе искры. Барабаны с карбидом хранят в сухих прохладных помещениях. Вскрытие барабана разрешается только латунным ножом.

Ацетилен при соприкосновении с медью образует взрывчатые вещества, поэтому применять медные инструменты при вскрытии карбида и медные припои при ремонте ацетиленовой аппаратуры нельзя. Ацетиленовые генераторы располагают на расстоянии не менее 10 м от открытого огня.

Баллоны с газами хранят и транспортируют только с навинченными на их горловины предохранительными колпаками и заглушками на боковых штуцерах вентилей. При транспортировании баллонов не допускаются толчки и удары. Переносить баллоны на руках запрещается. К месту сварочных работ баллоны доставляют на специальных тележках или носилках.

Баллоны с газом устанавливают в помещении не ближе чем на 1 м от радиаторов отопления и не ближе чем на 10 м – от горелок и других источников тепла с открытым огнем.

Запрещено хранить баллоны с кислородом в одном помещении с баллонами горючего газа, с барабанами карбида кальция, лаками, маслами и красками.

При обнаружении на баллоне или вентиле следов жира или масла баллон немедленно возвращают на склад. Соседство масла и кислорода может привести к взрыву.

В целях безопасности в обращении кислородные баллоны окрашивают в синий цвет, ацетиленовые – в белый, а баллоны с пропан-бутановыми смесями – в красный.

При газовой сварке и резке металлов сварочное пламя вредно действует на сетчатую и сосудистую оболочку глаз. Опасность для глаз представляют также брызги расплавленного металла и шлака. Поэтому газосварщики должны работать в защитных очках со специальными светофильтрами, выбираемыми в зависимости от мощности сварочного пламени. Для подсобных рабочих рекомендуются очки со светофильтрами марки Г-1, для газосварщиков и газорезчиков, работающих с аппаратурой средней мощности, – светофильтры Г-2, а при работе с более мощной аппаратурой – светофильтры Г-3. Очки должны плотно прилегать к лицу. От брызг расплавленного металла и искр светофильтр рекомендуется защищать

простым сменным стеклом. При сварке цветных металлов, латуни и свинца ее необходимо вести в респираторах.

Во избежание ожогов от брызг расплавленного металла брюки необходимо носить навывпуск, куртку – застегивать на все пуговицы. Для сварочных работ используются костюмы из брезентовой парусины с комбинированной пропиткой согласно ГОСТу. Работать можно только в целой, сухой, непромасленной спецодежде. Карманы куртки закрывают клапанами, концы рукавов завязывают тесемками. После работы спецодежду необходимо просушивать.

По окончании работы воду из генераторов и водяных затворов следует сливать. После окончания работы необходимо полностью разрядить генератор, вынуть загрузочное устройство, слить из промывателя ил, все части аппарата тщательно промыть водой и очистить от налетов извести. Очистку от ила можно производить только латунными скребками.

Не реже одного раза в месяц генераторы и водяные затворы разбирают для капитальной очистки.

Карбид кальция необходимо хранить в сухих, хорошо проветриваемых помещениях. Склады должны быть обеспечены огнетушителями и ящиками с песком. Барабаны с карбидом кальция разрешается хранить как в горизонтальном, так и в вертикальном положениях. Вскрывать барабаны следует латунным зубилом и деревянным молотком или специальным ножом.

Во время работы шланги необходимо оберегать от соприкосновения с токоведущими проводами, нагретыми предметами, масляными и жирowymi материалами, от попадания на них искр и брызг расплавленного металла. Шланги, проложенные в проходах и проездах, необходимо подвешивать или защищать специальными коробами. В случае возгорания шланга его следует быстро перегнуть возле горящего места со стороны редуктора или генератора, закрыть вентиль редуктора или кран на газоподводящей трубке водяного затвора.

Перед зажиганием горелки или резака необходимо проверить, плотны ли соединения и не засорено ли сопло наконечника. При зажигании сначала открывают кислородный вентиль на горелке или резаке, а потом – ацетиленовый; при тушении – наоборот. Около рабочего места необходимо иметь ведро с чистой водой для охлаждения перегреваемых мундштуков горелки или резака.

При обратном ударе пламени необходимо немедленно перекрыть ацетиленовый вентиль горелки или резака, а затем кислородный. После каждого обратного удара горелку или резак необходимо охладить в чистой холодной воде, а выходные каналы мундштуков и наконечников прочистить латунными и деревянными иглами. В случае неисправности кислородного или ацетиленового вентиля горелку или резак следует сдать в ремонт.

При выполнении газосварочных работ необходимо соблюдать правила пожарной безопасности. Ответственность за обеспечение мер пожарной безопасности при проведении огневых работ несет начальник цеха, участка, заведующий мастерской или лабораторией, где будут проводиться огневые работы. Допускать к проведению огневых работ лиц, не прошедших техминимума по правилам пожарной безопасности, запрещается. Газосварщики и газорезчики должны иметь специальные квалификационные удостоверения на право допуска их к выполнению огневых работ.

Место проведения огневых работ необходимо обеспечить средствами пожаротушения – ящиками с песком, огнетушителями, лопатами, ведрами и др. Все рабочие, занятые на огневых работах, должны уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения. В помещениях газопламенной обработки металлов запрещается хранение легковоспламеняющихся и горючих материалов.

При производстве паяльных работ на работающих могут воздействовать вредные и опасные факторы, к которым относятся: повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение источника нагрева и нагретой детали; электромагнитные поля, ионизирующие излучения, шум, ультразвук.

При пайке, напылении, выплавке припоев в окружающий воздух могут поступать аэрозоли, содержащие в составе твердой фазы оксиды различных металлов (марганца, хрома, никеля, меди, титана, алюминия, железа) и другие соединения, а также токсичные газы (оксид углерода, озон, фтористые, хлористые, бромистые соединения, оксиды азота и др.). В составе аэрозолей могут быть составляющие флюсов и припоев, содержащие свинец, кадмий, цинк, олово, углеводороды. Воздействие на организм выделяющихся вредных веществ может явиться причиной заболеваний и отравлений.

Для снижения концентрации вредных веществ на рабочих местах паяльщиков необходимо применять местные отсосы. Спецодежда, спец-

обувь, средства индивидуальной защиты органов дыхания, глаз и головы должны выдаваться работающим в соответствии с условиями выполняемой работы и типовыми нормами. Для защиты кожи рук от воздействия сенсibiliзирующих веществ, входящих в состав флюсов, необходимо применять защитные мази и пасты типа «Миколан», ИЭР-1, ХИОТ-14, казеиновую пасту и биологические перчатки. В целях пожаро- и взрывобезопасности концентрация легковоспламеняющихся и горючих веществ не должна превышать 50% нижнего предела взрываемости.

16.4. Техника безопасности при обработке материалов давлением и прессованием

Воздух рабочей зоны цехов обработки металлов давлением характеризуется отклонениями от состава, наиболее благоприятного для дыхания человека, так как проводимые в них технологические процессы сопровождаются выделением в воздух вредных веществ: пыль оксидов (при прокатке), газы – продукты сгорания смазки и неполного сгорания топлива в нагревательных печах (при прокатке, ковке, штамповке). Вследствие удаления окалины, проведения разделительных и формовочных операций наблюдается появление в воздухе мелких металлических частиц. Газы образуют с воздухом смеси, а твердые частицы – аэрозоли.

В производстве работающие находятся рядом с нагревательными устройствами, нагретыми до высоких температур заготовками и штампами, подвергаясь тепловому облучению от этих источников. При прокатке возможны ожоги и повреждения отлетающей окалиной и мелкими частицами металла.

Наметившаяся тенденция увеличения производительности, роста мощностей и быстроходности современного технологического оборудования сопровождается нежелательным побочным эффектом – усилением вибраций, а машины обработки металлов давлением и без этого относятся к виброактивным.

В цехах имеются и факторы, вызывающие шумы механического происхождения, – это ударные процессы формования. В свою очередь выпуск пара или сжатого воздуха из цилиндров молотов можно рассматривать как аэродинамические источники шума.

Одним из опаснейших производственных факторов обработки давлением является возможный захват рук и одежды движущимися частями машин.

На производстве прежде всего необходимо обеспечить электробезопасность. Заземление машин проверяется очень часто, так как оно может быть нарушено в связи с вибрациями. Широкое применение манипуляторов, механических рук, ПР остро поставило вопрос тщательной изоляции токопроводящих коммуникаций путем установки ограждений, а также размещения их на соответствующей высоте.

Одним из основных условий здорового и производительного труда рабочих является создание системы вентиляции, направленной на обеспечение чистоты воздуха в рабочей зоне помещений.

Наиболее эффективный способ защиты от теплоты в цехах является экранирование и водяные завесы у рабочих окон нагревательных устройств.

При переработке пластмасс методом литья под давлением, методом экструзии и методом прессования кроме вредных воздействий, характерных для обработки металлов, добавляются дополнительные факторы: частицы пыли пластмассового производства, окисляясь, могут разогреваться до температуры воспламенения, что может привести к самовоспламенению, а также взрыву пыли; выделение особо токсичных веществ (хлорированные углеводороды, соединения свинца, фенолы, формальдегид, окись углерода), вызывающих тяжелые отравления и изменения в нервной системе, крови, сосудах и печени; накопление статических зарядов как на металлических частях оборудования, так и на поверхностях перерабатываемых пластмасс, что приводит к появлению искровых разрядов, являющихся источниками воспламенения горючих веществ, пожаров, взрывов.

В общем случае при обработке материалов давлением и прессованием опасные и вредные факторы можно подразделить на:

- механические, характеризующиеся кинетической и потенциальной энергией и механическим влиянием на человека; к ним относятся: кинетическая энергия движущихся и вращающихся элементов, потенциальная энергия тел (в том числе людей, находящихся на высоте), шумы (инфразвук, ультразвук), вибрации (общие и локальные), статическая нагрузка, примеси нетоксичной пыли в воздухе и др.;

- термические, характеризующиеся тепловой энергией и аномальной температурой, к ним относятся: температура нагретых и охлажденных

предметов и поверхностей, температура открытого огня, а также пожара, химических реакций, влажность воздуха, его подвижность и др.;

- электрические (электрический ток, электростатическое электричество, ионизирующие излучения, ионизация воздуха и др.);
- электромагнитные (включая весь спектр излучения);
- химические: едкие, ядовитые, огне- и взрывоопасные вещества, нарушение газового состава воздуха и др.;
- психофизиологические: утомление, стресс, неудобство рабочего места и др.

Все эти факторы могут привести к аварии, пожару, взрыву, травматизму, общему и профессиональному заболеванию, нервно-психическим и физическим перегрузкам.

В литейных цехах в целях борьбы с запыленностью, газо- и парообразованием все их источники изолируются и снабжаются местной вытяжной вентиляцией. Устраивается также механическая общеобменная приточно-вытяжная либо приточная вентиляция, совмещаемая с естественной аэрацией через фонари и оконные проемы цехов. Около плавильных печей монтируются индивидуальные вытяжные зонты.

Прогрессивным мероприятием по улучшению условий труда является создание специальных тоннелей, в которых обеспечиваются свободные проходы; устанавливаются конвейеры и осуществляется приточно-вытяжная вентиляция.

Для уменьшения воздействия на рабочих теплоты в литейных цехах широко применяются установки воздушного душирования рабочих мест, а также местной вытяжной вентиляции. Используются различные теплоизоляционные устройства плавильных печей и металлических форм.

С целью снижения шума и вибраций в литейном производстве пневматические машины заменяют гидравлическими; выхлопные клапаны машин выводят за пределы производственных помещений; устраивают виброизолирующие фундаменты и прокладки; применяют специальные глушители и амортизаторы. В необходимых случаях используют средства индивидуальной защиты.

Существует несколько методов борьбы с вибрациями: замена кулачковых и кривошипных механизмов равномерно вращающимися, а также механизмами с гидроприводом; перевод процессовковки и штамповки с молотов и кривошипных прессов на гидравлические прессы. Для обеспечения динамического гашения вибраций оборудование кузнечно-прессовых

цехов устанавливается на фундаментах с амортизаторами подвешного типа или в виде эластичных опор. Это способствует защите окружающих зданий от вибраций, повышает точность обработки на металлорежущем оборудовании.

Проводятся мероприятия по борьбе с шумом: установка более спокойного, неударного оборудования; замена возвратно-поступательного движения механизмов вращательным; применение металлополимерных зубчатых передач и др. Четко устанавливается опасная зона в пространстве вокруг движущихся элементов.

Решение важной задачи современного машиностроения по проведению комплексной механизации и автоматизации производства приводит к введению дистанционного управления оборудованием – как единичным, так и в роботизированных комплексах. Таким образом, появилась возможность вывода оператора из опасной зоны.

В цехах обработки металлов давлением с целью создания нормальных метеорологических условий обеспечивается интенсивная аэрация зданий. Отходящие газы, как и в металлургических цехах, очищаются различными методами. Вода в этих цехах широко используется для гидрообеспыливания, охлаждения различных узлов машин и теплоизоляции нагревательных печей. Следовательно, обязательно создаются водоочистительные сооружения. Кроме того, могут применяться различные охлаждающие эмульсии, например, для станов холодной прокатки тонких листов. Для эмульсий устраивают специальную канализационную систему с соответствующими очистными устройствами.

Основные меры защиты от поражения электрическим током при проведении работ в литейных цехах следующие: токопроводящие части к оборудованию должны быть недоступны для случайного прикосновения, что достигается их изоляцией, размещением на недоступных высотах и установкой ограждений; устранение возможности поражения при появлении напряжения на корпусах оборудования, для чего обеспечивается двойная изоляция или устанавливается электрозащита; организация безопасной эксплуатации оборудования и инструмента. О замеченных неисправностях в оборудовании, инструменте и электропроводке следует немедленно сообщить специалистам.

Кроме общетехнических и организационных мер по технике безопасности применяют также индивидуальные средства защиты, особенно при обработке пластмасс давлением и прессованием (см. п. 16.2).

16.5. Техника безопасности при склеивании и окраске

При работе с клеями следует соблюдать максимальную осторожность; неаккуратность, невнимательность, недостаточное знакомство с приборами, аппаратами и свойствами веществ, с которыми ведутся работы, могут повлечь за собой несчастный случай.

На рабочем месте разрешается выполнять только ту работу, которая поручена и разъяснена. Запрещается отвлекаться посторонними делами, принимать пищу, пить воду, курить, использовать химическую посуду как пищевую. Категорически запрещается пробовать на вкус и нюхать химические реактивы. Это вызвано тем, что применяемые для клеев компоненты токсичны, взрыво- и пожароопасны.

Токсичность клеев на основе фенолоформальдегидных олигомеров определяется концентрацией свободного фенола и паров формальдегида, которые выделяются в воздух при нанесении и отверждении клеевой композиции и раздражают слизистые оболочки глаз и кожи.

При контакте с жидкими эпоксидными смолами возможно возникновение дерматита (покраснение кожных покровов, зуд), который проходит после прекращения контакта со смолой. Кроме того, при нагревании эпоксидных смол из них выделяются эпихлоргидрин и толуол, которые оказывают вредное влияние на нервную систему и печень. Еще большую опасность для здоровья представляют отвердители, применяемые для эпоксидных клеев. Ангидриды дикарбоновых кислот (малеиновый, фталевый и др.) вызывают раздражение слизистых оболочек верхних дыхательных путей и глаз (слезотечение, покраснение, отек, гнойное воспаление). При контакте с ними на коже наблюдается покраснение и образование пузырей, напоминающих ожог. Наименьшей токсичностью из них обладает метилтетрагидрофталевый ангидрид.

Опасность воздействия отвердителей аминного типа заключается в их высокой токсичности, предельно допустимые концентрации (ПДК) для них составляют 1...2 мг/м³. Полиэтиленполиамин, этилендиамин, гексаметилендиамин и другие амины вызывают изменения в центральной нервной системе, легких и печени. При попадании на кожу появляется раздражение, вплоть до образования язвенного дерматита, а на слизистых оболочках раздражение сопровождается гнойным воспалением.

Очень большой токсичностью обладают полиуретановые клеи, основу которых составляет толуилендиизоцианат (продукт 102-Т). Работа с этим веществом требует особой тщательности. При случайном попадании его на кожу необходимо протереть это место ватным тампоном, смоченным этилцеллозольвом или спиртом, после этого кожу промывают водой с мылом. Применение для удаления продукта 102-Т других органических растворителей (ацетона, этилацетата) нежелательно, они сами представляют опасность, так как проникают через кожу в кровь. Для удаления пролитого продукта 102-Т с пола его засыпают опилками или песком для впитывания, после их удаления пол промывают раствором аммиака и горячей водой с мылом.

Для некоторых клеев (марок ЛН, ТМ-60, ПММ) в качестве растворителя применяется дихлорэтан. Это ядовитая жидкость с характерным сладковатым запахом. Оказывает наркотическое действие и вызывает изменения в печени, почках и других органах, всасывается через кожу.

Полиэфирные клеи обычно содержат летучие мономеры: стирол, метилметакрилат и другие, участвующие в процессе сополимеризации. Эти мономеры пожароопасны и весьма токсичны, они раздражающе действуют на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей. Особую осторожность следует проявлять при работе с инициаторами: они могут взорваться в результате нагрева или удара, нельзя также смешивать инициатор и ускоритель. Вначале следует смешать инициатор со смолой, а затем добавить ускоритель; или инициатор смешать с одной порцией смолы, а ускоритель – с другой, и потом обе порции перемешать вместе. Хранить перекиси следует без доступа воздуха, оберегая от прямого солнечного облучения и нагревания.

Все работы с веществами, обладающими высокой токсичностью, следует проводить в специально оборудованных помещениях при работающей вытяжной вентиляции, скорость движения воздуха в открытых створках вытяжных шкафов и местных отсосах должна быть не менее 0,7 м/с. В случае непредвиденного выключения вентиляционной установки работу следует по возможности прекратить, надеть проверенный индивидуальный противогаз и сообщить мастеру или начальнику смены. Все работы с вредными веществами проводить в застегнутом халате, пользоваться резиновыми перчатками и прорезиненным фартуком, в ряде случаев надевать защитные очки или маски.

Для выполнения операций, сопровождающихся образованием пыли в воздухе (введение порошкообразных наполнителей и отвердителей, пескоструйная обработка), рабочий должен, кроме того, пользоваться еще и противопылевым респиратором и надевать на голову шапочку или косынку.

Органические растворители, применяемые для клеев, помимо токсичности еще легко воспламеняются и образуют с воздухом взрывоопасные смеси. Пожар и взрыв могут произойти при обезжиривании деталей легковоспламеняющимися жидкостями – ЛВЖ (бензин, ацетон, спирт), при приготовлении клеев, натрийнафталинового комплекса и при подготовке наполнителя – алюминиевой пудры.

Рабочие, непосредственно соприкасающиеся с клеевой композицией, должны быть ознакомлены с пожароопасностью и ядовитостью компонентов, входящих в состав клея.

Самовоспламенение ЛВЖ может происходить не только после нагрева их до определенной температуры в открытом сосуде, но и в случае, если эти жидкости попадут на горячие поверхности. Поэтому для предотвращения пожара и взрыва запрещается хранить и использовать в работе ЛВЖ вблизи огня и нагревательных приборов. Хранить и разливать ЛВЖ необходимо в изолированных помещениях, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении.

В случае воспламенения горючей жидкости необходимо выключить нагревательные приборы и вентиляцию, руководствуясь противопожарной инструкцией, приступить к тушению пожара. Подходы к противопожарному инвентарю: ящикам с песком, водопроводным кранам, огнетушителям, асбестовому одеялу и электрощитам – должны быть всегда свободными.

В табл. 92 приведены свойства веществ, наиболее часто встречающихся в клеевых композициях. По температурам кипения и плавления, по плотности можно судить о физическом состоянии применяемых веществ. Температура воспламенения характеризует способность горючих веществ к самостоятельному горению. Это наименьшая температура, при которой вещество после воспламенения устойчиво горит. Температура самовоспламенения – это наименьшая температура вещества, при которой возникает горение. По предельно допустимой концентрации (ПДК) определяют наибольшую безопасную концентрацию вредного вещества, которая допускается в воздухе рабочих помещений. В графе «Дополнительные све-

дения» приведены наименьшие концентрации, при которых наблюдается нарушение жизнедеятельности организма.

Необходимо помнить, что подготовка поверхности склеиваемых полимерных материалов обычно связана с их зашкуриванием, поэтому предельно допустимая концентрация (в мг/м³) пыли различных пластмасс в воздухе рабочей зоны помещения не должна превышать: для полиэтилена, полипропилена и фторопласта – 10, для поливинилхлорида, аминопласта и фенопласта – 6, для стеклопластиков – 4. Это вызвано тем, что при длительном воздействии на органы дыхания пыли различных полимерных материалов наблюдается поражение бронхов, легких, болезни печени, почек, изменения в нервной системе. Уборка запыленных участков и оборудования должна проводиться с помощью промышленных пылесосов или влажным способом не реже одного раза в смену.

Все рабочие, выполняющие лакокрасочные работы (маляры, шпаклевщики и др.), должны периодически проходить медицинское освидетельствование. Лица, не прошедшие освидетельствование, подростки до 18 лет, беременные женщины и кормящие матери к работам с лакокрасочными жидкостями не допускаются.

При нанесении лакокрасочных покрытий с помощью краскопультов, пистолетов-распылителей рабочие должны пользоваться очками и респираторами РМП-62. Запрещается проводить окраску деталей распыливанием и готовить лакокрасочные составы в общих производственных помещениях.

Транспортирование лакокрасочных материалов, ацетона и других растворителей должно производиться в герметично закрытой таре. Переносить растворители и легковоспламеняющиеся вещества в открытой или стеклянной таре запрещается.

При подготовке поверхностей под нанесение лаков и красок способами, при которых выделяется большое количество пыли, применяют очки и противопылевые респираторы «Лепесток», Ф-62Ш, У-2К или РУ-60М.

Особые меры предосторожности должны приниматься при соприкосновении с этилированным бензином, который содержит тетраэтилсвинец и ядовит. Загрязненные этилированным бензином цементно-бетонные и асфальтобетонные покрытия обезвреживают кашицей хлорной извести, смываемой водой через 15...20 мин после нанесения на загрязненные места. Для деревянных полов такую операцию продлевают дважды.

Обезвреживать этилированный бензин сухой хлорной известью запрещается. Загрязненные этилированным бензином обтирочные материалы, ветошь и опилки собирают в металлическую тару с плотными крышками, а затем сжигают с принятием определенных мер предосторожности.

Этилированный бензин нельзя использовать для освещения, а также для паяльных ламп, бензорезов, для чистки одежды, промывки деталей и других целей.

16.6. Охрана окружающей среды

К загрязнению окружающей среды принято относить результаты жизнедеятельности человека, которые оказывают отрицательное воздействие как на самого человека, так и на полезные для него организмы и ресурсы неживой природы.

Развитие промышленности и освоение новых, более эффективных технологических процессов с целью повышения производительности труда обусловили широкое применение физических, химических и биологических методов воздействия на вещество. Это привело к возрастанию всевозможных производственных отходов, образующихся вместе с готовой продукцией в результате переработки разнообразных природных ресурсов и вызывающих загрязнение окружающей среды. Технологические процессы являются также источниками шума и вибрации.

Механические отходы – твердые частицы и предметы, запыляющие атмосферу и загрязняющие воду и почву. Химические отходы – газообразные, жидкие и твердые соединения и элементы, попадающие в атмосферу, почву и воду и вступающие во взаимодействие с окружающей средой. Биологические отходы – все виды организмов, появляющихся при участии человека, наносящие ему вред и загрязняющие окружающую среду.

Виды вредных проявлений энергии: тепловой; механической (вибрации, шум, ультразвук и др.); световой (видимая, ультрафиолетовая и инфракрасная часть спектра); электромагнитного поля; ионизирующего излучения и др.

В машиностроении и металлообработке наибольшее значение с точки зрения загрязнения воздушного бассейна имеют разнообразные пыли – взвешенные в воздухе частицы твердых веществ.

Производственными сточными водами называются воды, используемые промышленным предприятием и подлежащие очистке от различных примесей. К последним относятся эмульсии нерастворимых в воде жидкостей (в основном нефть и продукты ее переработки), находящихся во взвешенном состоянии, и суспензии – взеси твердых частиц.

Производственные сточные воды подразделяются на условно чистые (оборотные) и грязные. К первым относятся воды, применяемые для охлаждения технологического оборудования. Эти воды охлаждаются в заводских прудах или градирнях, очищаются от механических загрязнений и масел и затем возвращаются в производство при ограниченной добавке свежей воды. Грязные сточные воды являются специфичными для каждого вида производства или цеха. Например, стоки гальванического цеха резко отличаются от стоков кузнечного или механического цехов предприятия.

Промышленные твердые отходы делятся на токсичные и нетоксичные. Основная масса твердых отходов машиностроения и металлообработки нетоксична (металлическая стружка, окалина, зола, отходы древесных материалов и т.п.). Примерами токсичных твердых отходов могут быть названы шламы гальванических цехов и травильных участков.

Промышленный шум большой интенсивности не только поражает органы слуха, но также оказывает общее отрицательное воздействие на организм человека, повышая утомляемость, рассеивая внимание, что может привести к снижению производительности труда, росту брака, травматизму и хроническим заболеваниям. Кроме того, повышенные вибрации могут привести к повышенному износу и разрушению станка и его механизмов.

Методами охраны окружающей среды от загрязнений отходами производства называют совокупность технических и организационных мероприятий, позволяющих свести к минимуму или исключить загрязнение окружающей среды и его вредное влияние. Методы борьбы с загрязнениями окружающей среды делятся на пассивные и активные. К пассивным относятся защитные методы, использование которых не связано с непосредственным воздействием на источники загрязнения. Среди таких методов наибольшее распространение находят выбор рационального размещения источников загрязнения, локализация загрязнений и их очистка перед выбросом в окружающую среду.

К активным относятся технологические и технические методы, связанные с совершенствованием существующих и разработкой новых технологических процессов, оборудования и оснастки в целях максимального снижения уровня или исключения загрязнения окружающей среды. Этими методами охрана окружающей среды решается более успешно, поэтому активным методам уделяется все большее внимание.

Ответственность за соблюдение санитарно-оздоровительных норм и осуществление мероприятий и мер по защите окружающей среды возлагается на местные органы власти и руководителей предприятий, а контроль за их выполнением осуществляют санитарно-эпидемиологические станции (СЭС) и санитарная милиция. Органам СЭС предоставлено право запрещать или временно приостанавливать эксплуатацию действующих объектов, отходы которых могут принести вред здоровью людей, окружающей среде. Предельно допустимые концентрации тех или иных веществ, содержащихся в воздухе, воде, почве строго регламентированы соответствующими стандартами. Все нормативные акты и постановления государства направлены не только на предотвращение загрязнений окружающей среды и устранение вредных факторов воздействия на природу, но и на улучшение состояния земель, вод, лесов, богатств растительного и животного мира.

Юридические требования охраны окружающей среды являются в равной степени обязательными как для предприятий, учреждений и организаций, так и для отдельных граждан независимо от занимаемой должности и выполняемой работы.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов О.В. и др. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
2. Алаи С.И. и др. Технология конструкционных материалов. М.: Просвещение. 1986. 302 с.
3. Алов А.А. Основы теории процессов сварки и пайки. М.: Машиностроение, 1984. 272 с.
4. Алюминиевые сплавы (свойства, обработка, применение) / Пер. с нем.; Под ред. М.Е. Дрица. М.: Металлургия, 1989. 680 с.
5. Аппен А.А. Температуроустойчивые неорганические покрытия. Л.: Химия, 1977. 381 с.
6. Бартл Д., Мудрох О. Технология химической и электрохимической обработки поверхностей. М.: Машиностроение, 1991. 712 с.
7. Белый В.А., Егоренков Н.И., Корецкая Л.С. Металлополимерные материалы и изделия. М.: Химия, 1979. 310 с.
8. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1968. Т. 1. 596 с.; Т. 2. 597 с.
9. Вигдорович А.И. и др. Древесные композиционные материалы в машиностроении. М.: Машиностроение, 1991. 236 с.
10. Власов А.Ф. Безопасность при работе на металлорежущих станках. М.: Машиностроение, 1987. 121 с.
11. Гоппенко В.Г. Способы производства порошковой продукции из алюминия и его сплавов. Л.: ЛДНТП, 1980. 20 с.
12. Гоц В.Л. и др. Методы окраски промышленных изделий. М.: Химия, 1995. 263 с.
13. Грановский Г.И. и др. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
14. Григорьев М.А. Материаловедение для столяров, плотников и паркетчиков. М.: Высшая школа, 1989. 223 с.
15. Грилихес С.Я. и др. Защитно-декоративные покрытия алюминия. Л.: ЛДНТП, 1990. 223 с.
16. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и пассивирование металлов. Л.: Машиностроение, 1987. 112 с.
17. Грилихес С.Я., Тихонов К.И. Электролитические и химические покрытия. Л.: Химия, 1990. 288 с.

18. Дриц М.Е. и др. Технология конструкционных материалов и материаловедение. М.: Высшая школа, 1990. 447 с.
19. Клоц М.У. Травление, полирование и пассивирование нержавеющей сталей. Л.: ЛДНТП, 1985. 23 с.
20. Клячкин Я.Л. Сварка цветных металлов и их сплавов. М.: Машиностроение, 1984. 335 с.
21. Кобаяши А. Обработка пластмасс резанием. М.: Машиностроение, 1984. 192 с.
22. Колачев Б.А. и др. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1992. 480 с.
23. Коротков В.И. Деревообрабатывающие станки. М.: Высшая школа, 1991. 239 с.
24. Корягин С.И. Несущая способность композиционных материалов. Калининград: Янтарный сказ, 1996. 301 с.
25. Корягин С.И., Розендент Б.Я. Стеклопластик в судоремонте. Калининград: Калинингр. книжн. изд-во, 1979. 111 с.
26. Кочергин К.А. Контактная сварка. Л.: Машиностроение, 1987. 240 с.
27. Краткий справочник паяльщика. М.: Машиностроение, 1991. 212 с.
28. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс / Пер. с нем. М.: Машиностроение, 1986. 432 с.
29. Кривоухов В.А., Чубаров А.Д. Обработка резанием титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1990. 180 с.
30. Курилов П.Г., Рыбаулин В.Н. Производство конструкционных изделий из порошков на основе железа. М.: Металлургия, 1992. 128 с.
31. Лаворко П.К. Оксидные покрытия металлов. М.: Машгиз, 1993. 186 с.
32. Лернер П.С. и др. Токарное и фрезерное дело. М.: Просвещение, 1990. 207 с.
33. Манко Г.Г. Пайка и припои. Материалы, конструкции, технология и методы расчета. М.: Машиноведение, 1988. 323 с.
34. Материалы в машиностроении. Выбор и применение. М.: Машиностроение. Т. 1. Цветные металлы и сплавы, 1967. 304 с.; Т. 2. Конструкционная сталь, 1987. 496 с.; Т. 3. Специальные стали и сплавы, 1988. 448 с.; Т. 4. Чугун, 1988. 248 с.
35. Машины для литья под давлением. М.: Машиностроение, 1993. 286 с.
36. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин. М.: Машиностроение, 1989. 480 с.
37. Москвитин М.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания. М.: Лесная промышленность, 1974. 321 с.
38. Мэнсон Дж., Скерлинг Л. Полимерные смеси и композиты / Пер. с англ.; Под ред. Г.Г. Бабаевского. М.: Химия, 1981. 736 с.

39. Нектасов С.С., Зильберман Г.М. Технология материалов. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
40. Никитин Л.И. Охрана труда на деревообрабатывающих предприятиях. М.: Высшая школа, 1987. 240 с.
41. Обработка давлением авиационных материалов / Под ред. А.И. Колпашникова. М.: Машиностроение, 1988. 194 с.
42. Обработка давлением алюминиевых и жаропрочных сплавов: Сб. статей / Под ред. А.И. Колпашникова. М.: Машиностроение, 1987. 123 с.
43. Обработка конструкционных материалов резанием. М.: Машиностроение, 1987. 300 с.
44. Обработка материалов резанием / Под ред. С.В. Кривоухова. М.: Машиностроение, 1988. 627 с.
45. Обработка материалов резанием / Под ред. А.А. Панова. М.: Машиностроение, 1988. 736 с.
46. Поважук Г.М. Техника безопасности при сварочных работах. Киев: Высшая школа, 1986. 94 с.
47. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Высшая школа, 1974. 590 с.
48. Попов С.А. Шлифовальные работы. М.: Высшая школа, 1987. 383 с.
49. Прохоренко П.П. и др. Ультразвуковая металлизация материалов / Под ред. В.А. Лабунова. Минск: Белоруссия, 1987. 271 с.
50. Резание труднообрабатываемых материалов / Под ред. П.Г. Петрухи. М.: Машиностроение, 1982. 176 с.
51. Роман О.В., Габриелов И.П. Справочник по порошковой металлургии. Минск: Белоруссия, 1988. 175 с.
52. Соколов И.И. Газовая сварка и резка металлов. М.: Высшая школа, 1991. 320 с.
53. Справочная книга по охране труда в машиностроении / Под ред. О.Н. Русака. Л.: Машиностроение, 1989. 541 с.
54. Суворов И.К. Обработка металлов давлением. М.: Высшая школа, 1993. 383 с.
55. Техника переработки пластмасс. Лейпциг, 1985. 138 с.
56. Технология конструкционных материалов / Под ред. А.А. Дальского. М.: Машиностроение, 1990. 351 с.
57. Технология конструкционных материалов / Под ред. Г.А. Прейса. Киев: Высшая школа, 1984. 359 с.
58. Технология конструкционных материалов / Под ред. П.Г. Петрухи. М.: Высшая школа, 1991. 512 с.
59. Тризно М.С., Москалев Е.В. Клеи и склеивание. Л.: Химия, 1980. 120 с.
60. Фещенко В.Н. и др. Токарная обработка. М.: Высшая школа, 1984. 288 с.

61. Фридман Л.Б. Механические свойства металлов. М. Оборонгиз, 1962. 556 с.
62. Холистер Г., Томас К. Материалы упрочненные волокнами. М.: Металлургия, 1979. 249 с.
63. Хренов К.К. Сварка, резка и пайка металлов. М.: Машиностроение, 1993. 512 с.
64. Ящерицын П.И. и др. Основы резания материалов и режущий инструмент. М.: Машиностроение, 1981. 327 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК
