

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. А. Зюзин, Б. Н. Казьмин

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ЗАЩИТНО-ОТДЕЛОЧНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

Учебное пособие

Липецк 2008

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. А. Зюзин, Б. Н. Казьмин

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ЗАЩИТНО-ОТДЕЛОЧНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

Учебное пособие

*Допущено УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин
и транспортно-технологических комплексов в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по специальности
«Автомобиле- и тракторостроение»*

Липецк 2008

УДК 669.017
3.381

Зюзин, А. А. Конструкционные и защитно-отделочные материалы [Текст]: учебное пособие / А. А. Зюзин, Б. Н. Казьмин. – Липецк: ЛГТУ, 2008. – 178 с. ISBN–789–5–88247–346–3

В учебном пособии рассмотрены классификация, основные механические свойства, выбор и рекомендуемые области применения конструкционных и защитно-отделочных материалов. Предназначено для студентов специальности 190201 «Автомобиле- и тракторостроение» очной и очно-заочной форм обучения

Табл. 34. Ил. 3. Библиограф: 8 назв.

Рецензенты: кафедра «Автомобиле- и тракторостроение» ВолгГТУ, зав. каф. д.т.н. проф. Ляшенко М. В.;

В. А. Умняшкин заслуженный машиностроитель РФ, д.т.н. проф. ИжГТУ

ISBN–789–5–88247–346–3

© Липецкий государственный
технический университет, 2008

Оглавление

Введение.....	5
Глава I. Влияние конструкционных материалов на эксплуатационные свойства деталей машин.....	7
1. Функциональный анализ причин потери работоспособности деталей машин.....	7
2. Причины потери работоспособности деталей машин.....	8
3. Выбор материалов для изготовления деталей машин.....	15
Глава II. Конструкционные материалы, их свойства и области применения.....	24
1. Стали.....	24
1.1. Классификация сталей и их маркировка.....	24
1.2. Конструкционные стали.....	27
1.3. Рессорно-пружинные стали.....	47
1.4. Шарикоподшипниковые стали.....	49
1.5. Автоматные стали.....	50
1.6. Инструментальные стали.....	50
1.7. Стали и сплавы с особыми свойствами.....	54
1.8. Стали для отливок.....	66
1.9. Стали для поковок.....	72
2. Чугуны.....	74
3. Медь и ее сплавы.....	81
4. Алюминий и его сплавы.....	85
5. Титан и его сплавы.....	89
6. Магний и его сплавы.....	92
7. Антифрикционные (подшипниковые) сплавы.....	94
8. Тугоплавкие металлы.....	96
9. Твердые сплавы.....	99
10. Сверхтвердые материалы.....	103

10.1. Алмазы.....	103
10.2. Сверхтвердые материалы (СТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ).....	104
11. Минералокерамика.....	106
12. Металлокерамические материалы.....	107
13. Пластические массы.....	109
13.1. Классификация, строение и свойства пластмасс.....	109
13.2. Покрытия из пластмасс.....	133
13.3. Изготовление деталей из пластмасс.....	135
14. Композиционные материалы.....	139
15. Резина и резинотехнические изделия.....	143
16. Клеи из синтетических материалов.....	149
Глава III. Защитные и отделочные материалы.....	152
1. Лакокрасочные материалы.....	152
2. Виды покрытий и области их применения.....	154
3. Герметики.....	160
4. Фосфаты	162
5. Грунтовки	163
6. Шпатлевки	164
7. Светоотражающие материалы	165
8. Энергопоглощающие материалы	166
9. Безопасные интерьерные и отделочные материалы	168
10. Технология окраски и отделки	170
Библиографический список	177

ВВЕДЕНИЕ

Первые машины создавались из существовавших тогда материалов, недостатки которых повлекли за собой поиск новых, более совершенных конструкционных материалов. Постепенно первоначальные и последующие исследования привели к кардинальному пересмотру и переоцениванию некоторых критериев многообразных свойств конструкционных материалов и методов их испытания.

Бурное развитие научно-технического прогресса повлекло интенсификацию условий эксплуатации деталей и сборочных единиц различных машин. Возросли скорости эксплуатации, режимы силового и температурного нагружения деталей и сборочных единиц многих машин различного назначения. Всё это вызвало применение большого количества новых конструкционных материалов для изготовления деталей машин, приборов, аппаратов, инструментов и других назначений. Таких материалов в настоящее время насчитывается около 1 миллиона наименований.

Современное материаловедение подразделяет конструкционные материалы на четыре основные группы: металлы и сплавы, минералокерамические, полимерные и композиционные (композиты) – наиболее перспективные.

Инструментальные материалы, являющиеся разновидностью конструкционных, используются для изготовления режущих и измерительных инструментов, фильеров, штампов, прокатных валков и других деталей.

При изготовлении современных машин все шире применяют новые, обычно труднообрабатываемые, конструкционные материалы. С усложнением конструкций и увеличением нагрузок на детали проблема точности и качества их изготовления и обеспечение высокой надежности выпускаемых машин стала одной из основных в технологии машиностроения. Все это потребовало более глубокого изучения и совершенствования существующих, а также разработки новых высокоэффективных методов и процессов обработки. Появились новые виды конструкционных инструментальных материалов, освоён выпуск и находят всё большее применение синтетические сверх-

твердые материалы (алмазы, эльбор, гексанит и др.), большое развитие получили методы отделочно-упрочняющей обработки. Наибольшими возможностями в отношении повышения точности и качества изготовления деталей обладают новые способы окончательной и доводочной обработки. Большинство из них связано с применением синтетических алмазов и кубического нитрида бора (эльбора). Алмазные и эльборовые круги отличаются высокой размерной стойкостью и обеспечивают в 1,5...2,5 раза более высокую производительность, чем инструмент из обычных абразивных материалов. В настоящее время все большее применение получают резцы, оснащенные сверхтвердыми поликристаллами кубического нитрида бора. Особо эффективны они при обработке стальных деталей, закаленных на твердость HRC 50...60. До появления таких резцов стали указанной твердости лезвийным инструментом вообще не обрабатывались. Высокая размерная стойкость кристаллов кубического нитрида бора позволяет при точении получать точность, доступную лишь шлифованию. Возрастает роль в обеспечении высокой точности и твердосплавного инструмента, особенно размерного. Промышленностью освоен выпуск большой номенклатуры монолитного твердосплавного инструмента для обработки отверстий и резьб, всё шире применяются твердосплавные выглаживающие прошивки и протяжки, сборные червячные фрезы и шевера. Находят применение цельные твердосплавные (вольфрамокобальтовые) валки листопркатных станов, например, валки диаметром 55 мм 20-ти валкового стана 1200 «СКМЗ».

Достигнутые успехи в обработке металлов резанием, перспектива дальнейшего повышения точности и качества изготовления деталей, роста производительности труда при станочной обработке находятся в прямой зависимости от качества инструментальных конструкционных материалов и металло-режущего инструмента.

ГЛАВА I. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1. Функциональный анализ причин потери работоспособности деталей машин

Любая машина состоит из отдельных сборочных единиц, каждая из которых имеет определенное назначение, т.е. выполняет вполне определенные функции. В процессе эксплуатации машины надежность, заложенная в ней при конструировании и изготовлении, снижается вследствие возникновения различных неисправностей. Об исправной работе машины обычно судят по ее рабочим характеристикам: мощности, тяговому усилию, производительности, КПД, уровню шума, вибрации и т.п. Всякое отклонение рабочих характеристик от нормальных свидетельствует о наличии той или иной неисправности в машине.

Всякая сборочная единица состоит из отдельных сопряжений. Неисправности сопряжений проявляются в нарушении посадок, другими словами, в нарушении заданных зазоров в подвижных сопряжениях и натягов в неподвижных. Так, падение производительности масляного насоса может быть следствием увеличения зазоров между торцевыми поверхностями шестерен, крышек и корпуса. В свою очередь, всякое нарушение посадок обусловлено изменениями в размерах и форме деталей. Отсюда можно сделать вывод, что любая рассматриваемая неисправность в машине является следствием изменений, происшедших в рабочих характеристиках деталей. Эти неисправности могут проявляться в изменениях конструктивных размеров деталей, формы и качества их поверхностей, физико-механических свойств материала. Наиболее часто неисправности возникают вследствие изменения размеров и формы (некруглости, нецилиндричности) посадочных поверхностей деталей. Так как влияние этих изменений на работу всей машины легче проследить и изучить на простейшем конструктивном звене машины, каковым является сопряжение пары деталей, то в основу изучения неисправностей машин положено изучение изменений

отдельных типовых сопряжений. Надежность машины в целом не может быть выше самого малонадежного ее звена или сопряжения.

2. Причины потери работоспособности деталей машин

Основными причинами потери работоспособности машин являются износ и усталостные разрушения деталей. Установлено, что до 80% случаев потери работоспособности машин происходит вследствие износа.

Принято классифицировать износы на механический, молекулярно-механический и коррозионно-механический.

Механический износ представляет собой процесс разрушения поверхностных слоев в результате упругих и пластических деформаций без существенных физико-химических изменений свойств материалов. К механическому износу относятся: абразивный износ, пластическое деформирование и износ при кавитации.

Абразивный износ представляет собой пластическую деформацию верхних слоев при трении скольжения в результате воздействия на сопряженные поверхности твердых абразивных частиц. Взаимодействие поверхности детали с твердыми частицами разнообразно. При абразивном износе происходит пластическое деформирование материала независимо от того, образуется при этом стружка (уносимая, например, потоком смазки) или возникают риски, бороздки и т.д. Абразивные частицы - это частицы нагара, продукты изнашивания и включение твердых частиц в смазочные жидкости.

Абразивная эрозия представляет собой изнашивание поверхности под воздействием движущихся в потоке газа или жидкости абразивных частиц, например, эрозия кромок лопаток газовых турбин под воздействием частиц золы, движущихся вместе с газоздушным потоком.

При пластическом деформировании под воздействием внешних нагрузок и высоких температур более мягкий материал перемещается в направлении движения, а затем отрывается (изнашивание мягких антифрикционных материалов подшипников скольжения, наволакивание материала зубьев зубчатых передач при работе с перегрузкой и т.д.).

При трении скольжения износ выражается в том, что мельчайшие поверхностные частицы постепенно отделяются от тела детали, причем деталь теряет свои первоначальные размеры и форму.

В ином виде происходит износ при трении качения. В этом случае в начале наблюдается поверхностное уплотнение металла (нагартовка, наклеп). Причем изменяются лишь размеры детали без потери материала, т. е. происходит только объемный износ. Затем наклепанный слой начинает отслаиваться в виде пленок и, следовательно, износ происходит не только по объему, но и по массе.

Износ при кавитации представляет собой хрупкое разрушение поверхностей деталей в результате местных гидравлических ударов. Этот вид износа характерен для деталей, работающих в условиях турбулентного движения жидкостей, когда под действием многократно повторяющихся гидравлических ударов поверхности деталей покрываются маленькими раковинами и углублениями.

Молекулярно-механический износ деталей машин - это разрушение местных металлических связей в том случае, когда сопряженные трущиеся поверхности сближены на расстояние, не превышающее размеров атомных решеток, т. е. когда возможно молекулярное взаимодействие поверхностей. При этом на поверхностях отсутствуют окисные пленки, смазка и пр.

Коррозионно-механический износ представляет собой разрушение поверхностей детали при одновременном механическом и коррозионном воздействии на нее. Окислительный процесс наблюдается в том случае, когда в результате непосредственного контакта сопряженных поверхностей происходит пластическое деформирование и срезание выступов с обнажением не защищенного окисной пленкой металла и его окисление. Наличие в газовой или жидкой среде, омывающей деталь, агрессивных веществ значительно ускоряет процесс разрушения.

Фреттинг-коррозия возникает в результате относительно небольшого перемещения, например, при вибрации находящихся в контакте двух деталей, одна

из которых (или обе) металлическая. Эта коррозия приводит к образованию не металлической сопряженной поверхности питтингов (мелких точечных разрушений). Частицы окислов металлов заполняют образовавшиеся питтинги, поэтому только после удаления продуктов коррозии они становятся видимыми.

К другим причинам потери работоспособности деталей машин относятся коррозионное разрушение, усталостное разрушение, термоусталостное разрушение, ползучесть металлов.

Коррозионным разрушением металла называется самопроизвольное его разрушение вследствие физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Различают химическую и электрохимическую коррозию. При химической коррозии окисление металла и восстановление окислительного компонента происходит в одном акте. Электрохимический коррозионный процесс предполагает присутствие электролитической токопроводящей среды.

Усталостным разрушением металла называется процесс постепенного накопления повреждений под действием повторно-переменных напряжений, приводящих к структурным изменениям металла, образованию микротрещин, трещин и разрушению его.

Термоусталостным разрушением металла называется разрушение в результате часто повторяющихся температурных градиентов и затрудненности температурного расширения деталей.

Ползучестью металла называется процесс изменения во времени деформаций и напряжений, происходящий в детали вследствие релаксации внутренних остаточных напряжений под действием внешних условий.

Все встречающиеся в работающих сборочных единицах и сопряжениях износы и разрушения могут быть подразделены на две основные группы:

1) износы и разрушения, обычно медленно нарастающие и являющиеся следствием длительной работы сил трения, воздействия высоких температур и других факторов при нормальных условиях эксплуатации, т. е. когда соблюдаются все требуемые для данного механизма правила эксплуатации. Так как эти износы относятся к явлениям нормальным, определяемым са-

мой конструкцией машины, их можно называть естественными износами;

2) износы и разрушения, нарастающие быстро и наблюдаемые иногда даже после непродолжительной работы механизма. Они являются, главным образом, результатом нарушения правил эксплуатации данного механизма и, в сравнительно редких случаях, результатом конструкторских промахов или дефектов производства. Типичное для данной группы износов и разрушений интенсивное нарастание носит характер аварии, а поэтому они называются аварийными.

Такое деление износов и разрушений целесообразно потому, что оно помогает решению основной задачи профилактики неисправностей – поддерживать эксплуатируемые механизмы и сопряжения в работоспособном состоянии, чтобы они подвергались только естественному (нормальному) износу. Аварийные износы и разрушения не должны иметь место.

Однако постепенное количественное нарастание износа с увеличением наработки машины лишь до известного предела не влечет за собой заметных отклонений от заданных рабочих характеристик механизмов и, очевидно, лишь до этого предела износ может считаться естественным (нормальным). За указанным пределом наступает аварийный износ сопряжений и деталей данного механизма.

На рис. 1.1 изображена кривая нарастания износа подвижной сопрягаемой поверхности, где по оси абсцисс отложена наработка машины в моточасах, а по оси ординат – величина износа в микрометрах (мкм). Показанная кривая справедлива для большинства удовлетворительно сконструированных подвижных сопряжений, работающих в установившемся режиме. Кривая имеет три явно выраженных участка: начальный I, характеризующий процесс приработки нового сопряжения; конечный III, соответствующий периоду разрушения сопряжения вследствие износа его сверхдопустимого предела (аварийный износ), и промежуточный участок II, наибольший по протяженности, отвечающий периоду нормальной работы сопряжения (естественный износ). При оценке полного ресурса сопряжения участки I и III должны исключаться, так

как началом нормальной работы сопряжения следует считать момент окончания приработки N , а концом – достижение предельно допустимого износа M .

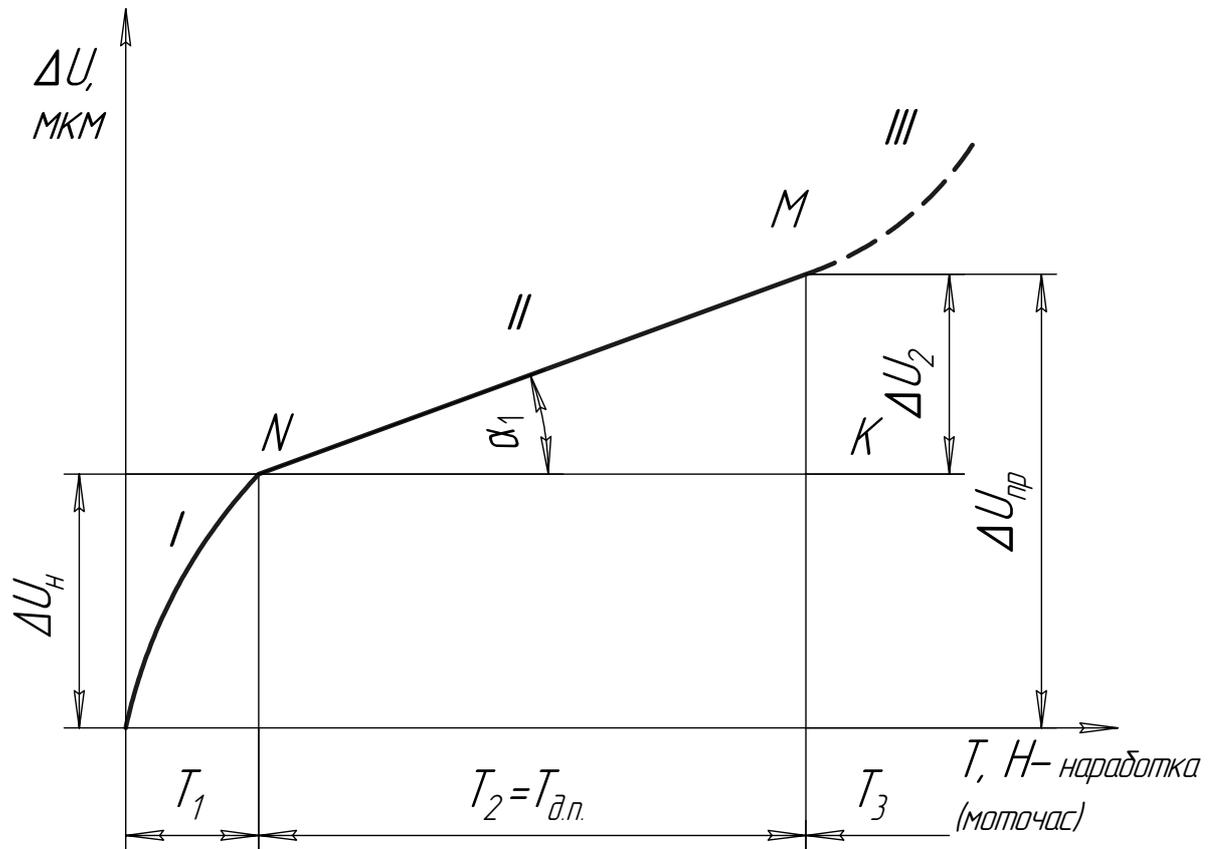


Рис. 1.1 Кривая нарастания износа подвижной сопрягаемой поверхности

На рис. 1.2 представлена схема расчета ресурсов, предельных и допустимых износов деталей и сопряжения в целом. В таком случае полный ресурс любого удовлетворительно сконструированного сопряжения, работающего при установившемся режиме, может быть выражен следующей зависимостью:

$$T_{\text{с.п.}} = \frac{S_{\text{пр.}} - S_{\text{н}}}{W_{\text{с}}}, \quad (1.1)$$

где $T_{\text{с.п.}}$ – полный ресурс сопряжения, моточас; $S_{\text{пр.}}$ и $S_{\text{н}}$ – соответственно предельный и начальный зазоры в сопряжении двух деталей; $W_{\text{с}}$ – средняя скорость изнашивания сопряжения мкм/моточас.

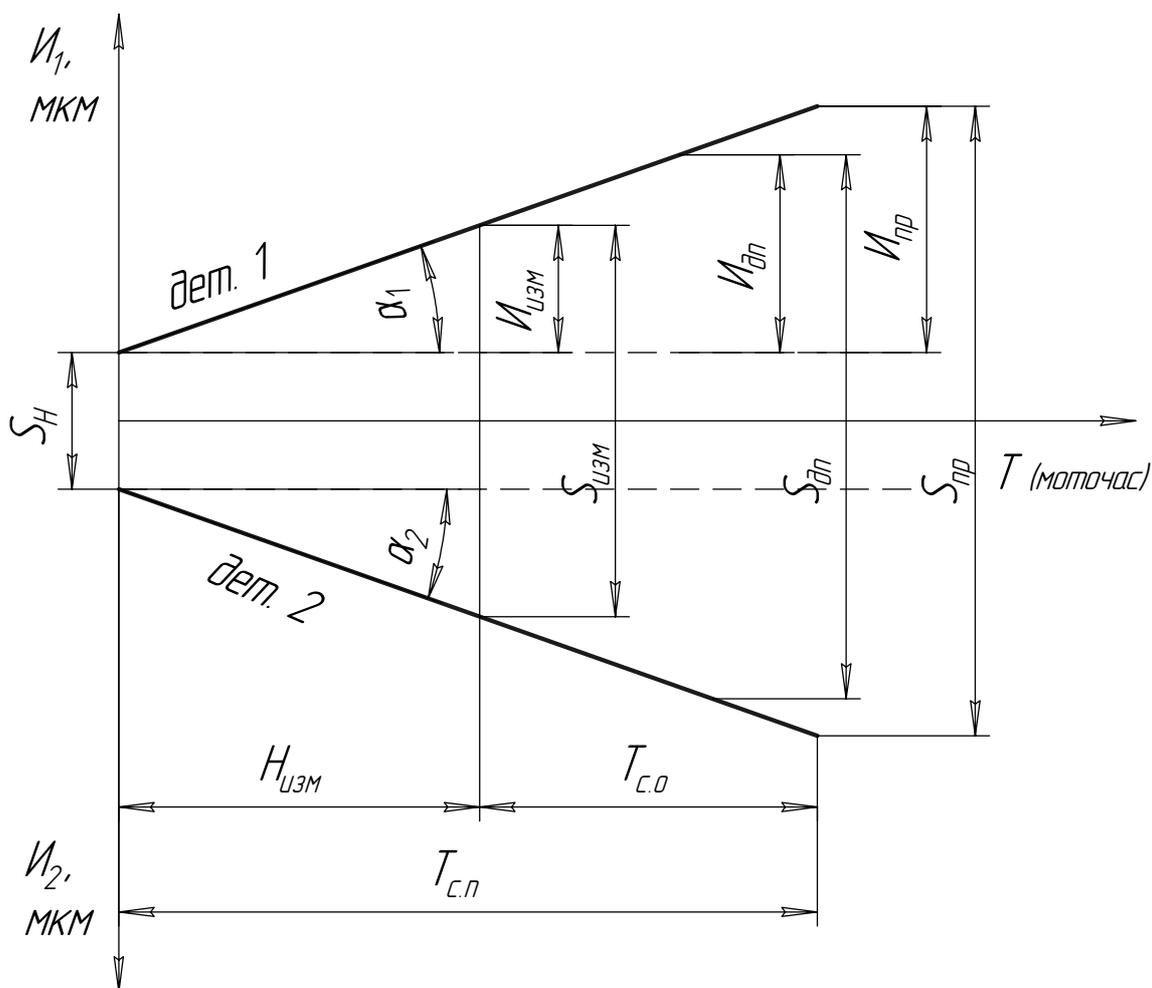


Рис. 1.2. Схема расчёта ресурсов, предельных и допустимых износов деталей сопряжения

При расчете межремонтных, остаточных и полных ресурсов определяют среднюю скорость изнашивания сопряжения на II участке его работы по формуле

$$W_c = \frac{S_{изм} - S_H}{H_{изм}}, \quad (1.2)$$

где $S_{изм}$ - величина зазора, установленная в сопряжении деталей при микрометричных измерениях; $H_{изм}$ - величина наработки в моточасах на момент измерений.

Для каждой детали сопряжения полный ресурс $T_{д.п}$ и средняя скорость изнашивания W_d определяются по подобным выражениям (1.1) и (1.2):

$$T_{\text{д.п.}} = \frac{I_{\text{пр}}}{W_{\text{д}}}; \quad (1.3)$$

$$W_{\text{д}} = \frac{I_{\text{изм.}}}{H_{\text{изм.}}}, \quad (1.4)$$

где $I_{\text{пр}}$ - предельный износ детали, мкм; $I_{\text{изм}}$ - величина износа детали по результатам измерений.

Средняя величина остаточного ресурса детали $T_{\text{д.о.}}$ определяется по формуле

$$T_{\text{д.о.}} = \frac{I_{\text{пр.}} - I_{\text{изм}}}{W_{\text{д}}}. \quad (1.5)$$

Нижняя $T_{\text{д.о.}}^{\text{H}}$ и верхняя $T_{\text{д.о.}}^{\text{B}}$ доверительные границы остаточного ресурса детали определяются по выражениям:

$$T_{\text{д.о.}}^{\text{H}} = 0,7 \cdot T_{\text{д.о.}}; \quad (1.6)$$

$$T_{\text{д.о.}}^{\text{B}} = 1,35 \cdot T_{\text{д.о.}}. \quad (1.7)$$

Остаточный ресурс сопряжения и его доверительные границы рассчитываются по подобным выражениям с учетом измеренной величины зазора в сопряжении $S_{\text{изм.}}$:

- средний остаточный ресурс сопряжения

$$T_{\text{с.о.}} = \frac{S_{\text{пр.}} - S_{\text{изм.}}}{W_{\text{с}}}; \quad (1.8)$$

- доверительные границы остаточного ресурса сопряжения

$$T_{\text{с.о.}}^{\text{H}} = 0,7 \cdot T_{\text{с.о.}}; \quad (1.9)$$

$$T_{\text{с.о.}}^{\text{B}} = 1,35 \cdot T_{\text{с.о.}}. \quad (1.10)$$

Определенный остаточный ресурс детали $T_{\text{д.о.}}$ или сопряжения $T_{\text{с.о.}}$ сравнивается с межремонтным ресурсом $T_{\text{м.р.}}$ машины в целом. Если $T_{\text{д.о.}} \geq T_{\text{м.р}}$ и

$T_{с.п.} \geq T_{м.р.}$, то принимается решение по дальнейшему их использованию в эксплуатации без восстановительной технологии.

Если нет микрометражных измерений, полный ресурс детали $T_{д.п.}$ или сопряжения $T_{с.п.}$ определяют по формулам:

$$T_{д.п.} = \frac{I_{пр}}{I_{пр} - I_{др}} \cdot T_{м.р.}; \quad (1.11)$$

$$T_{с.п.} = \frac{S_{пр} - S_{н}}{S_{пр} - S_{др}} \cdot T_{м.р.}, \quad (1.12)$$

где $I_{пр}$ и $I_{др}$ - соответственно предельный и допустимый износы; $S_{н}$, $S_{пр}$ и $S_{др}$ - соответственно начальный, предельный и допустимый зазоры; $T_{м.р.}$ - установленная для данной сборочной единицы величина межремонтного ресурса.

Величины $I_{пр}$, $I_{др.}$, $S_{пр}$, $S_{н}$, $S_{др}$ и $T_{м.р.}$ выбирают из технических условий на дефектацию деталей и сопряжений.

3. Выбор материалов для изготовления деталей машин

Арсенал мероприятий по повышению надежности и долговечности деталей и сборочных единиц машин весьма велик и многообразен. На рис. 1.3 приведены основные факторы, определяющие надежность машин на всех стадиях создания и эксплуатации. На каждом этапе создания и эксплуатации машин необходимо реализовать конструкторские, технологические и эксплуатационные мероприятия по повышению надежности и долговечности.

Первоначально надёжность закладывается при проектировании сборочных единиц и машин в целом. На этой стадии надежность зависит от конструкции деталей и сборочных единиц машины, применяемых материалов, уровня оптимизации норм точности и качества основных поверхностей деталей, методов защиты от вредных воздействий, характера смазки, ремонтпригодности и других факторов. В процессе проектирования необходимо стремиться не только к снижению массы и упрощению

конструкции машины, но и к повышению надёжности и долговечности её деталей и составных сборочных единиц. Выполнение этого требования обеспечивается, прежде всего, применением необходимых конструкционных материалов, выбором соответствующих методов обработки, методов упрочнения и других факторов.

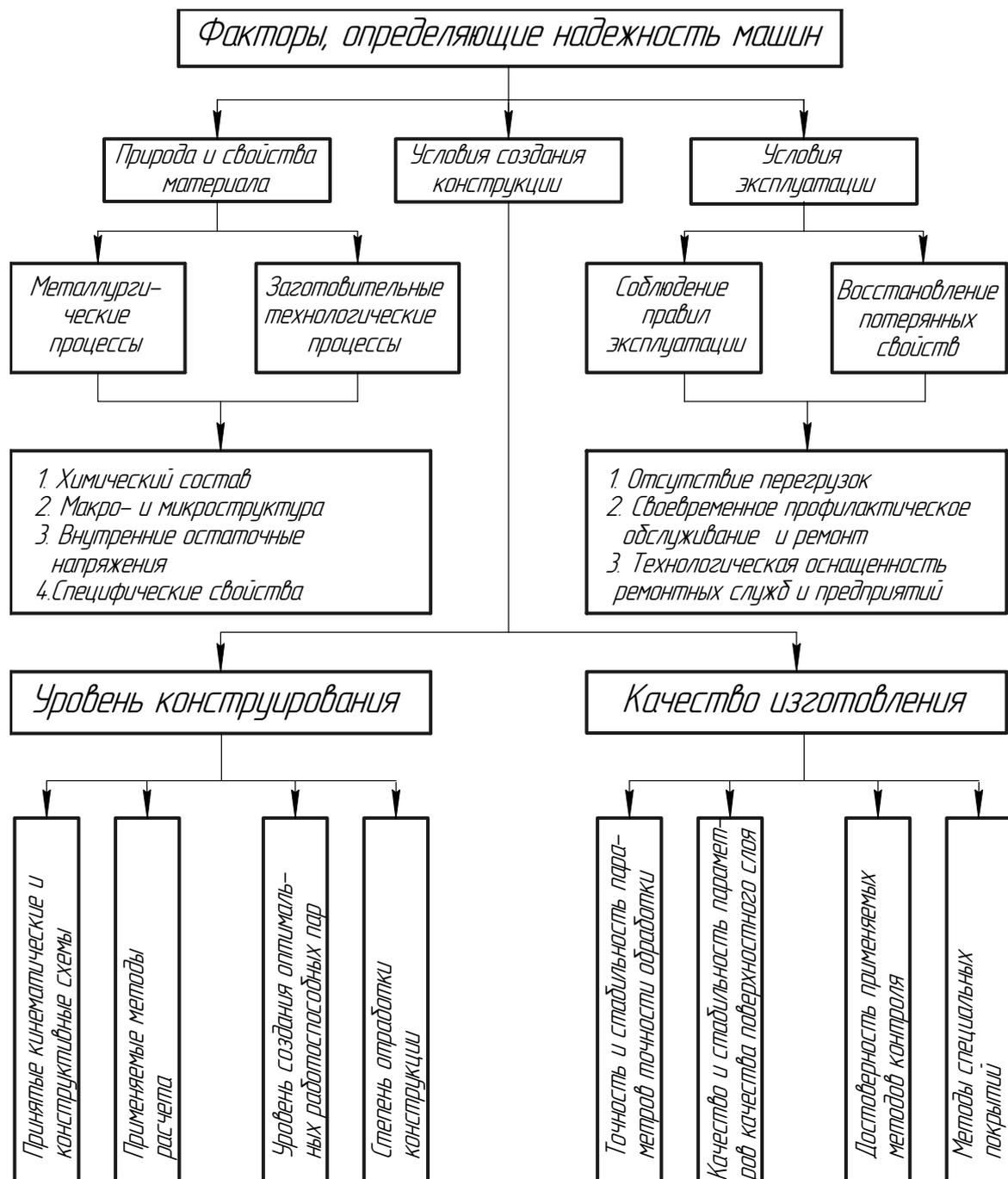


Рис. 1.3. Факторы, определяющие надежность машин

Особое внимание следует уделять повышению износостойкости и усталостной прочности деталей машин, которые существенно зависят от правильного выбора материала. В связи с массовым введением новых конструкционных материалов в практику машиностроения, усовершенствованием традиционных и созданием новых методов оценки их свойств, часто возникает проблема выбора конструкционного материала с оптимальными свойствами, максимально удовлетворяющими функциональному назначению детали. При этом необходимо учитывать не только свойства конструкционного материала противостоять различным видам разрушения (усталостному, термоусталостному, коррозионному, износу, ползучести и др.), но и его способность обрабатываться резанием, воспринимать термическую обработку, пластически деформироваться, подвергаться свариванию и др. Подобные проблемы возникают также на этапе восстановления работоспособности деталей и сопряжений при ремонтах.

В соответствии с представленной на рис. 1.3 классификацией основных факторов, определяющих надежность машин, выбор конструкционного материала с оптимальными свойствами, максимально соответствующими функциональному назначению деталей, является одним из основных направлений в решении проблемы обеспечения и повышения надежности и долговечности машин.

Выбор материала для деталей машин, снижение их материалоемкости, повышение надежности и долговечности зависят от взаимосвязи условий их эксплуатации, физико-химических и механических свойств материала, принятого технологического процесса механической обработки и метода упрочнения деталей, конструктивного выполнения сборочных единиц и деталей, точности и качества их изготовления. Принимаемые при этом решения должны обеспечивать наиболее высокие технико-экономические показатели производства и эксплуатации машин.

Для изготовления деталей с ограниченным сроком службы применяют стали, чугуны, специальные сплавы черных и цветных металлов, пластические массы и другие неметаллические материалы. Большинство сталей, используемых в машиностроении, включено в Государственные стандарты (ГОСТы). В зависимости от назначения стали подразделяют на конструкционные (машиностроительные) и стали с особыми свойствами. Конструкционные стали с пониженным содержанием углерода при изготовлении деталей ограниченной долговечности чаще всего подвергают цементации и называют цементируемыми. В деталях, изготовляемых из углеродистых сталей с очень малым содержанием углерода, сердцевина не упрочняется, и после цементации и закалки можно получить высокую твердость лишь поверхностного цементированного слоя. При повышенном содержании углерода, а также при наличии легирующих элементов эффект упрочнения сердцевины после термической обработки повышается.

Среднеуглеродистые стали, содержащие более 0,25...0,30 % углерода и разные количества легирующих элементов, применяются, как правило, для изготовления деталей, которые подвергают объемной термической обработке. Закалка и высокий отпуск существенно улучшают комплекс механических свойств этих сталей.

Имеется группа высокопрочных улучшаемых сталей, которые после соответствующей термической обработки приобретают при достаточной вязкости более высокую прочность, чем обычные конструкционные стали. Это хромоникелевые стали, дополнительно легированные в разных количествах и сочетаниях молибденом, вольфрамом, ванадием. Их используют для изготовления ответственных деталей, для которых требуется материал высокой прочности в крупных сечениях. Высокопрочные стали со стареющим мартенситом содержат менее 0,03 % углерода, 8...26 % никеля, титан, алюминий и легированы кобальтом, молибденом или ниобием. Повышение механических свойств высокопрочных сталей достигается в процессе термической обработки, при которой в результате закалки получается практически

безуглеродистый мартенсит, а при отпуске происходит выделение интерметаллидных фаз (дисперсионное твердение).

Стали с более высоким содержанием углерода (0,5...0,7 %) часто с добавками марганца и кремния, главным образом используются для изготовления рессор и пружин. Пружинные стали должны иметь высокий предел упругости (текучести), что достигается соответствующей объемной термической обработкой.

К сталям с особыми свойствами относятся износостойкие, жаропрочные, коррозионностойкие, окалиностойкие и др.

Для изготовления деталей, работающих в условиях трения, применяют графитизированные стали, в структуре которых при графитизирующем отжиге образуется графит. Включения графита, выполняя роль смазки, предотвращают сухое трение и схватывание металлов. Отожженная графитизированная сталь применяется для изготовления литых коленчатых валов, сепараторов подшипников качения, втулок, зубчатых и червячных колес, поршней и т. п. Закаленная графитизированная сталь применяется для изготовления кожухов и лопастей дробеструйных аппаратов, сопел пескоструйных аппаратов, шаров и броневых плит мельниц, прокатных и правильных валков, штампов для холодной штамповки и других подобных деталей.

Высокохромистые стали ледебуритного класса отличаются высокой износостойкостью в закаленном состоянии благодаря наличию твердых хромистых карбидов. Из этих сталей изготавливают плиты дробилок, штампы для холодной формовки, гибки, резки, протяжки, накатные ролики, сверла и детали, работающие в абразивной среде.

Шарикоподшипниковые стали после термической обработки обладают высокой твердостью, прочностью и сопротивляемостью усталостному выкрашиванию (оспвидному разрушению). Стали предназначены для изготовления шариков, роликов и колец подшипников качения.

Для наплавки рабочих частей изнашивающихся деталей машин с целью их упрочнения применяются специальные твердые сплавы, отличающиеся высокой износостойкостью.

Детали, работающие под нагрузкой при высоких температурах, изготавливают из жаропрочных сталей. Выбор материалов производится при этом исходя из их прочностных свойств в заданном рабочем интервале температур. Для деталей, работающих при температурах ниже 300 °С, рекомендуется использовать обработанные на высокую прочность простые конструкционные стали, у которых в этом диапазоне температур не наблюдаются явления ползучести. В интервале температур 300...500 °С лучшими прочностными свойствами обладают стали хромомолибденовые и хромокремнистые (сильхромы). Детали, работающие в интервале температур 500...650 °С изготавливают из аустенитных жаропрочных сталей, которые подразделяются на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Коррозионно- и окалиностойкие стали и сплавы предназначены для изготовления деталей, работающих в ненагруженном или слабонагруженном состоянии в агрессивных средах и при высоких температурах. К этой группе относятся хромистые, высокохромистые, хромоникельмарганцовистые стали.

При проектировании необходимо выбирать стали, с учитывая их стоимость. Если, например, детали должны иметь повышенную износостойкость при сравнительно невысокой прочности, то такие детали можно изготавливать из цементируемых углеродистых сталей, стоимость которых в 1,2...1,3 раза ниже стоимости высоколегированных безникелевых цементируемых сталей и 2,0...2,5 раза ниже стоимости никельсодержащих цементируемых сталей. К наиболее дешевым относятся также простые среднеуглеродистые стали. С увеличением легирующих добавок стоимость стали повышается. Наиболее дорогими являются хромоникелевые стали, которые, однако, после соответствующей термической обработки имеют лучшие ме-

ханические свойства (высокую прочность в сочетании с хорошей вязкостью). В связи с повышенной стоимостью сталей, легированных дорогими и дефицитными элементами, следует избегать их применения в тех случаях, когда для изготовления деталей можно использовать простые углеродистые или экономно легированные стали.

Чугуны, применяемые в качестве конструкционного материала, подразделяют на серые, высокопрочные и ковкие. В первых графит имеет пластинчатую форму, во вторых – шаровидную, а в третьих – хлопьевидную. Серые чугуны классифицируются по прочностным свойствам при растяжении и изгибе.

Высокопрочные чугуны применяют для отливки деталей, от которых требуются более высокие механические свойства. Это достигается введением в жидкий чугун специальных модификаторов (главным образом магния), что способствует образованию графита шаровидной формы, в наименьшей степени ослабляющего рабочее сечение отливки.

Ковкие чугуны по технологическим и механическим свойствам занимают промежуточное положение между сталями и серыми чугунами. Графит в них имеет хлопьевидную форму. Они обладают сравнительно малой чувствительностью к надрезам, лучше сталей способствуют затуханию колебаний, имеют довольно высокие показатели предела прочности, относительного удлинения и ударной вязкости.

Для производства деталей с повышенной износостойкостью в условиях абразивного износа часто используют отбеленные чугуны, поверхностные слои которых имеют структуру белого, а сердцевина – половинчатого или серого чугуна. Из отбеленного чугуна изготавливают детали машин, подвергаемые при необходимости механической обработке только шлифованию (валки для прокатки листового и профилированного металла, дробильные мельничные шары, зубья ковшей экскаваторов и др.).

В промышленности применяют также отливки из коррозионностойких чугунов. К этой группе сплавов относятся высококремнистые (ферросилиды), кремниемолибденовые (антихлоры), аустенитные и высокохромистые чугуны. Высокохромистые чугуны обладают химической стойкостью в кислотах (азотной, хромовой и др.), а также в серной кислоте при различных температурах и концентрациях, стойки в органических кислотах (уксусной, муравьиной, лимонной и др.), в ряде растворов солей и во влажной атмосфере. Аустенитные чугуны, помимо повышенной коррозионной стойкости, имеют хорошие литейные свойства, значительную пластичность, износостойкость и удовлетворительную обрабатываемость резанием. Аустенитная структура получается при добавлении в чугун до 20% никеля. В промышленности находит применение также аустенитный никель-медистый нержавеющий чугун с добавкой хрома. Высокохромистые чугуны используют для изготовления деталей, работающих в условиях коррозионной среды, повышенной температуры и износа. Коррозионностойкие чугуны значительно дороже обычных конструкционных. Особенно высокую стоимость имеют (ввиду повышенного содержания никеля) аустенитные чугуны. В качестве жаропрочного машиностроительного материала находят применение и сплавы на основе титана. Главное их преимущество – малый удельный вес и высокая коррозионная стойкость при повышенных и обычных температурах.

В качестве антифрикционных материалов в промышленности находят применение сплавы цветных металлов, антифрикционные чугуны, металло-керамические материалы, пластмассы, прессованная древесина, резина.

В дополнение к механическим характеристикам, регламентированным ГОСТом, в приведенные ниже таблицы включены усталостные характеристики: предел выносливости σ_{-1} и параметр, характеризующий угол наклона кривой усталости в полулогарифмических координатах $k = \operatorname{tg} \alpha$. Значения этих характеристик вычислены по зависимостям, полученным в результате обработки большого статистического материала по усталостным испытаниям.

Наиболее вероятные значения σ_{-1} и $k=\operatorname{tg}\alpha$ (Н/мм²):

углеродистые стали:

$$\sigma_{-1} = 0,29\sigma_B + 79,2; \quad \sigma_{-1} = 0,45\sigma_T + 95,4;$$

$$k = 0,04\sigma_B + 33,2; \quad k = 0,17\sigma_T + 4,2;$$

легированные стали:

при $\sigma_T < 500$ Н/мм²: $\sigma_{-1} = 0,35\sigma_B + 53; \quad \sigma_{-1} = 0,493\sigma_T + 79,5;$

при $\sigma_T > 500$ Н/мм²: $\sigma_{-1} = 0,13\sigma_T + 279;$

$$k = 0,0981\sigma_B + 7,5; \quad k = 0,09\sigma_T + 33,9.$$

Приведенные выше зависимости справедливы для сталей с пределом прочности $\sigma_B \leq 1100$ Н/мм². Значения σ_{-1} и $k=\operatorname{tg}\alpha$, полученные по σ_B и σ_T , достаточно близки как это видно из приведенных ниже таблиц.

Наиболее вероятное значение точки перелома кривой усталости в полулогарифмических координатах для сталей равно $2,1 \cdot 10^6$, которое можно принимать при построении кривых усталости и выполнении расчета стальных деталей на усталостную прочность.

Наиболее полные данные по химическому составу и механическим свойствам сталей, применяемых для изготовления деталей машин, а также по вопросам их применения приведены в соответствующих ГОСТах.

Ниже приводятся сведения о механических свойствах и областях применения основных материалов, используемых для изготовления деталей машин.

ГЛАВА II. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

1. Стали

1.1. Классификация сталей и их маркировка

Сталью называют сплав железа с углеродом и другими элементами с содержанием углерода до 2,14 %.

Стали классифицируют по следующим признакам: *химическому составу, способу производства, содержанию вредных примесей, структуре, области применения.*

По химическому составу различают стали углеродистые и легированные. По основным легирующим элементам стали называют хромистыми, кремнистыми, хромоникелевыми, хромомарганцеванадиевыми и т. п. В зависимости от содержания легирующих элементов легированные стали делят на низколегированные (до 2,5%), среднелегированные (2,5...10%) и высоколегированные (более 10%).

По способу производства стали бывают: особых методов выплавки, электростали, конвертерные и мартеновские.

По содержанию вредных примесей (серы и фосфора) различают стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные.

Стали обыкновенного качества – углеродистые стали с содержанием углерода до 0,5% – выплавляют в кислородных конвертерах и мартеновских печах; содержание фосфора до 0,07% и серы до 0,06%. Их разделяют на три группы. К группе А относятся стали, регламентируемые по механическим свойствам. Их маркируют буквенно-цифровым кодом Ст0, Ст1, ..., Ст6, где цифра обозначает условный номер марки. Группа Б содержит стали, регламентируемые по химическому составу. Их обозначают БСт0, ..., БСт6. В группу В включены стали, регламентируемые по механическим свойствам и химическому составу. Их обозначают ВСт1, ..., ВСт6. Для обозначения степени раскисления к обозначению марки стали после

номера марки добавляют индексы: кп – кипящая, пс – полуспокойная, сп – спокойная, например, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, БСтЗкп, ВСтЗсп.

Стали качественные – углеродистые и легированные – выплавляют преимущественно в основных мартеновских печах; содержание серы и фосфора до 0,035...0,04% каждого. *Углеродистые качественные конструкционные стали* обозначают двузначными цифрами, которые показывают среднее содержание углерода в стали, выраженное в сотых долях процента. Например, сталь марки 20 содержит в среднем 0,20% углерода, сталь 45 – 0,45% и т. д. Степень раскисления указывают после номера марки, например сталь 08кп.

Стали высококачественные – главным образом легированные стали – выплавляют преимущественно в электропечах, а также в кислых мартеновских печах; содержание серы и фосфора до 0,025% каждого.

Стали особо высококачественные – легированные стали – выплавляют в электропечах, электрошлаковым переплавом и другими совершенными методами; содержание серы и фосфора до 0,015% каждого.

По структуре подразделяют стали, поставляемые в отожженном и нормализованном состояниях.

По области применения стали подразделяют на следующие группы: конструкционные стали – для изготовления деталей машин и металлоконструкций; инструментальные стали – для изготовления режущего и измерительного инструмента; стали и сплавы с особыми свойствами – например, жаропрочные, коррозионностойкие, магнитные и др.

Углеродистые инструментальные стали маркируют буквой У с цифрой, обозначающей среднее содержание углерода, выраженное в десятых долях процента. Например, сталь марки У8 содержит в среднем 0,8% углерода, сталь У10 – 1% и т. д. Для высококачественных сталей в конце марки ставят букву А. Например, стали У8, У10 – качественные, У8А, У10А – высококачественные.

В основу обозначения марок *легированных сталей* положена буквенно-цифровая система. Легирующие элементы указывают русскими буквами: марганец – Г, кремний – С, хром – Х, никель – Н, вольфрам – В, ванадий – Ф, титан – Т, молибден – М, кобальт – К, алюминий – Ю, медь – Д, бор – Р, ниобий – Б, цирконий – Ц, фосфор – П, азот – А, селен – Е, редкоземельные металлы – Ч.

В марках *легированных конструкционных сталей*, например 15Х, 14Г2, 25ХГТ, 30ХЗМФ, 55С2 и др., двузначные цифры в начале расшифровки марки означают среднее содержание углерода в сотых долях процента, цифры после букв – примерное содержание соответствующего легирующего элемента в процентах. Отсутствие цифры указывает на то, что последнее составляет около 1%. Для высококачественных сталей в конце марки ставят букву А. Например, сталь 30ХГС – качественная сталь, а сталь 30ХГСА – высококачественная.

В марках *легированных инструментальных сталей*, например 9ХФ, 12М, 7ХЗ, 3Х2В8Ф и др., цифра в начале марки указывает среднее содержание углерода в десятых долях процента, если его содержание менее 1%. При содержании углерода в сталях более 1% цифру не пишут. Расшифровка марок инструментальных сталей по содержанию легирующих элементов такая же, как для конструкционных сталей. Все инструментальные легированные стали и стали с особыми свойствами (например, жаропрочные марок 40Х9С2, 20Х12ВНМФ и др., коррозионно-стойкие марок 30Х13, 12Х18Н9 и др.) всегда высококачественные, и поэтому в обозначениях этих сталей буква А не ставится.

В маркировке сталей иногда вначале ставят буквы, указывающие их применение: А – автоматные стали, Р – быстрорежущие, Ш – шарикоподшипниковые, Э – электротехнические, а в конце – буквы, указывающие способ рафинирующего переплава: Ш – электрошлаковый переплав, ВД – вакуумный дуговой переплав и др.

1.2. Конструкционные стали

Конструкционные стали, из которых изготовляют самые разнообразные металлоконструкции и детали машин для различных отраслей промышленности, должны обладать высокими механическими свойствами, технологичностью в обработке (хорошая обрабатываемость давлением, резанием, свариваемость) и малой стоимостью. Конструкционная сталь в зависимости от условий работы деталей должна иметь высокую прочность и пластичность (как при комнатной, так и при повышенных и низких температурах), упругость, хорошо сопротивляться ударной нагрузке, изнашиванию, усталости, хрупкому разрушению.

Требуемые свойства достигаются выбором химического состава стали и качеством металлургических и технологических процессов, в которых важную роль играют методы и режимы термической обработки.

Конструкционные строительные стали. Для сварных и клепаных конструкций в строительстве, мостостроении, судостроении применяют углеродистые стали обыкновенного качества (при незначительных напряжениях в конструкциях) и низколегированные стали с невысоким содержанием углерода (при более высоких напряжениях). Стали должны обладать достаточно высокими прочностью и ударной вязкостью как при обычной, так и при пониженной температуре, хорошей свариваемостью. Эти стали поставляют в виде горячекатаного сортового, фасонного и листового проката.

Углеродистые стали обыкновенного качества. Химический состав сталей группы А не регламентируется. Это связано с тем, что детали, изготовленные из сталей группы А, не подвергают термической обработке. Но для расчета размеров нагруженных деталей необходимо знать механические свойства стали.

Чем больше номер марки, тем выше прочность, но ниже пластичность стали. Например, для стали марки Ст1кп $\sigma_{\text{в}} = 310 \dots 400$ МПа и $\delta = 35 \dots 32\%$,

для стали марок СтЗсп, СтЗпс $\sigma_B = 380...490$ МПа, $\delta = 26...23\%$, для стали марок Стбсп, Стбпс $\sigma_B = 600$ МПа и $\delta = 15...12\%$.

Для группы сталей Б гарантируемой характеристикой качества является химический состав. Например, сталь марки БСт1кп содержит 0,06...0,12% углерода, 0,25...0,50% марганца, 0,05% кремния. Для стали марки БСтЗсп эти цифры соответственно составляют 0,14...0,22%, 0,40...0,65%; 0,12...0,30%, а для стали марки БСтбпс – 0,38...0,49%, 0,5...0,8%; 0,05...0,17%. Так как известен химический состав, детали из сталей группы Б можно подвергать термической обработке.

Механические свойства сталей группы В должны соответствовать нормам для сталей аналогичных марок группы А, а химический состав – нормам для аналогичных марок группы Б. Например, механические свойства стали ВСтЗсп такие же, как у стали СтЗсп, а химический состав – как у стали БСтЗсп.

Низколегированные конструкционные стали. Для металлических конструкций применяют стали 14Г2 (для кожухов доменных печей), 10ХСНД (в мостостроении) и др., а для армирования железобетонных конструкций – 18Г2С, 35ГС и др. Эти стали хорошо свариваются. Иногда их поставляют в термически обработанном состоянии (после нормализации, улучшения или термомеханической обработки). Преимуществом этих сталей является более низкий порог хладноломкости. Даже при температуре -40 °С их ударная вязкость достаточно высокая: $KCU = 0,3...0,5$ МДж/м². Углеродистая сталь обыкновенного качества группы В имеет такую ударную вязкость при температуре -20 °С.

Листовая сталь для холодной штамповки. В зависимости от степени деформации листа стали делят на следующие группы: глубокой вытяжки (Г) и нормальной вытяжки (Н). Для холодной штамповки применяют, например, сталь марки 08кп. В этой стали мало углерода (0,05...0,11 %) и кремния ($< 0,03$ %), что улучшает деформируемость, так как углерод и кремний снижают способность стали к вытяжке. На деформируемость ста-

ли в холодном состоянии сильно влияет микроструктура. Лучше всего штампуются сталь с мелким зерном. При штамповке стали с очень крупным зерном получается шероховатая поверхность (так называемая апельсиновая корка). Плохо обрабатывается сталь с разными по размеру зёрнами (разнозернистая). При штамповке такая сталь в разных объемах деформируется неодинаково, в результате чего возникают разрывы. Вредное влияние на штампуемость оказывает структурно свободный (третичный) цементит, также вызывающий при штамповке разрывы.

Цементируемые конструкционные стали. С увеличением содержания углерода и степени легированности прочность стали при растяжении, кручении и изгибе повышается. Цементация повышает не только поверхностную прочность, но и прочность всей детали. Наибольший коэффициент упрочнения K_{σ_n} получен для сталей с относительно малым содержанием углерода и меньшей степенью легирования.

Для изготовления цементируемых деталей простой конфигурации, не испытывающих значительных напряжений в процессе эксплуатации, рекомендуется применять простые углеродистые стали; для изготовления деталей, испытывающих большие напряжения и удары – легированные стали. Для изготовления деталей сложной формы, деформация которых при закалке нежелательна (например, шестерни), следует применять закаливаемые в масле легированные стали.

Цементируемые низкоуглеродистые стали (например, стали марок 15, 20) применяют для изготовления деталей небольших размеров, работающих на износ при малых нагрузках, когда прочность сердцевины не влияет на эксплуатационные свойства (втулки, валики, оси, шпильки и др.). После цементации, закалки в воде и низкого отпуска поверхность стали имеет высокую твердость – HRC 58...62 (структура мартенсит), а сердцевина не упрочняется, так как в ней сохраняется структура феррит + перлит.

В деталях из углеродистой стали вследствие малой прокаливаемости высокую твердость после закалки получает лишь поверхностный цементированный слой, а сердцевина не упрочняется.

Химический состав и механические свойства углеродистых сталей рекомендован ГОСТ 1050-74 (для сталей 15Г, 20Г, 25Г – ГОСТ 4543-71).

В табл. 2.1 приведены механические свойства низкоуглеродистых конструкционных сталей, а в табл. 2.2 – данные о влиянии температуры испытания на эти свойства. Области применения качественных низкоуглеродистых сталей указаны в табл. 2.3.

Таблица 2.1

Механические свойства низкоуглеродистых конструкционных сталей

Марка стали	Термическая обработка заготовок	$\sigma_T, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	Определено расчетом, Н/мм ²			
						$\sigma_{.1}$ по		$k=\text{tg}\alpha$ по	
						σ_T	σ_B	σ_T	σ_B
						не менее			
08	Нормализация	200	330	33	60	180	170	38	47
10	Нормализация	210	340	31	55	190	180	40	42
15	Нормализация	230	380	27	55	200	190	43	48
20	Нормализация	250	420	25	55	210	200	47	52
25	Нормализация	280	460	23	50	220	210	52	51
15Г	Закалка	250	420	26	55	200	200	56	49
20Г	Закалка	280	460	24	50	220	210	59	53
25Г	Закалка + отпуск при 560 °С	300	500	22	50	230	230	61	56

Таблица 2.2

Влияние температуры испытания на механические свойства качественных углеродистых сталей

Марка стали	Температура испытания, °С	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	α_H , Дж/см ²
08*	20	180	320	20	77	70
	200	210	400	16	65	140
	300	100	380	24	67	130
	400	90	280	31	77	120
	500	80	200	33	78	90
	600	60	140	41	85	80
10	20	260	430	31	69	220
	200	220	490	20	55	180
	300	180	420	23	55	150
	400	170	360	24	69	100
	500	160	260	28	62	80
	600	90	110	33	84	300
15	20	250	460	32	69	180
	200	230	530	19	53	200
	300	230	550	18	51	140
	400	190	430	27	68	100
	500	170	310	26	66	80
	600	120	160	30	80	300
20	20	290	440	34	66	210
	200	230	410	27	66	190
	300	170	420	29	44	190
	400	150	330	39	80	100
	500	140	250	40	86	90
	600	80	150	47	85	170
25*	20	320	500	28	58	90
	200	330	570	12	44	10
	300	200	550	22	37	90
	400	170	470	25	65	70
	500	150	340	28	70	50
	600	70	160	44	92	80

* Горячекатаные, остальные – нормализованные

Области применения качественных низкоуглеродистых сталей

Марка стали	Назначение
08кп, 08, 08пс, 16кп, 10, 10пс	Без термической обработки: трубки, прокладки, шайбы, корпуса, диафрагмы, заклепки, муфты, шпильки, пальцы и другие детали общего машиностроения, которые должны обладать высокой пластичностью. После цементации и цианирования: втулки, ушки, оси звеньев цепи, вкладыши и другие детали, которые должны иметь высокую поверхностную твердость и высокую вязкость сердцевины
15кп, 15, 15пс, 20кп, 20пс, 25	Без термической обработки или после нормализации: элементы трубных соединений, штуцера, вилки, фланцы, болты, корпуса и клапаны холодильных аппаратов, патрубки, штанги конусов доменных печей, кованные и штампованные тяги, змеевики, коллекторы, трубы, и другие детали, работающие при температурах от -40 до +425°С. После цементации и цианирования: детали, от которых требуется высокая твердость поверхности и невысокая прочность сердцевины: кулачковые валики, рычаги, оси, втулки, вкладыши, малонагруженные шестерни, крепежные детали, фрикционные диски, шпиндели, упоры, пальцы, звездочки, шпильки, оси балансиров и катков, валики масляных насосов и другие детали автотранспортного и общего машиностроения
15Г, 20Г, 25	Небольшие детали, работающие на износ в условиях трения и малых удельных усилий, от которых требуется высокая твердость поверхности: кулачковые валики, тяги, шарниры муфт, поршневые кольца. Термическая обработка — цементация, закалка и низкий отпуск

Цементируемые легированные стали целесообразно применять для крупных и тяжело нагруженных деталей и в том числе для деталей, которым необходимо иметь высокую твердость поверхностного слоя и достаточно прочную вязкую сердцевину. В легированных цементируемых сталях, несмотря на небольшое содержание углерода, благодаря значительному количеству легирующих примесей гораздо легче получить при

термической обработке более высокие прочность и вязкость сердцевины из-за образования в ней структур бейнита или низкоуглеродистого мартенсита. Поэтому из них изготавливают детали ответственного назначения. Химический состав и механические свойства регламентированы ГОСТ 4541-71. Упрочнение сердцевины при термической обработке (закалка + низкий отпуск) будет тем более значительным, чем больше углерода и легирующих элементов они содержат.

Хромистые стали (15X, 20X) применяют для деталей небольших и средних размеров, работающих на износ при повышенных нагрузках (поршневые пальцы, распределительные валы, толкатели клапанов и др.). Прокаливаемость этих сталей небольшая. После цементации и закалки в масле сердцевина деталей имеет структуру бейнита и заметно упрочняется ($\sigma_B = 700 \dots 800$ МПа).

Хромоникелевые стали (20ХН, 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А) применяют для крупных ответственного назначения деталей, работающих на износ при высоких нагрузках (шестерни, шлицевые валы и др.). Эти стали малочувствительны к перегреву, хорошо прокаливаются. После цементации и закалки в масле сердцевина деталей имеет структуру низкоуглеродистого мартенсита или нижнего бейнита, что обеспечивает сочетание повышенной прочности сердцевины ($\sigma_B = 800 \dots 1300$ МПа) и вязкости. Применять хромоникелевые стали без необходимости не рекомендуется, поскольку никель очень дефицитен.

Хромомарганцевые стали с титаном, содержащие до 0,15% титана (18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ), являются заменителями хромоникелевых сталей. Преимуществом этих сталей является их наследственная мелкозернистость, что позволяет значительно сократить общий технологический цикл обработки и закалывать детали из этих сталей непосредственно из цементационной (газовой) печи с предварительным подстуживанием. Эти стали имеют одинаковое количество легирующих примесей и отличаются только по содержанию углерода, что влияет на прокаливаемость. Поэтому сталь

18ХГТ применяют для деталей средних размеров (сечением до 20 мм), а сталь 30ХГТ — для крупных деталей (сечением до 100 мм). Предел прочности сердцевины деталей из стали 18ХГТ $\sigma_B = 1000$ МПа, из стали 30ХГТ $\sigma_B = 1500$ МПа.

Хромомарганцевая сталь с бором (20ХГР), содержащая до 0,008% бора, обладает повышенной прокаливаемостью, поэтому ее применяют без ущерба для прочности и долговечности деталей взамен хромоникелевых сталей.

Хромоникелевые стали с молибденом (18Х2Н4МА) и с вольфрамом (18Х2Н4ВА) применяют для ответственных крупных и тяжело нагруженных деталей, работающих в условиях вибрации, скручивающих напряжений, при наличии концентрации напряжений (зубчатые колеса авиадвигателей, судовых редукторов и др.). Их закаливают на воздухе, что уменьшает коробление деталей, и они прокаливаются практически в любом сечении.

В табл. 2.4 приведены механические свойства термически обработанных цементируемых легированных сталей, а в табл. 2.5 – области их применения.

Улучшаемые конструкционные стали. Эти стали обычно подвергают улучшению – закалке и высокому отпуску при 550...560 °С с получением структуры сорбита. После улучшения они имеют высокие прочность, пластичность, предел выносливости, хорошую прокаливаемость, малую чувствительность к отпускной хрупкости.

При выборе этих сталей для изготовления деталей необходимо учитывать их прокаливаемость, циклическую прочность, ударную вязкость, сопротивление изнашиванию и др. Основным показателем является прокаливаемость, так как от нее зависят свойства по сечению деталей. Для обеспечения прочности ответственных деталей, работающих на изгиб и кручение, закаленный слой со структурой, состоящей из 90 % мартенсита и 10 % троостита закалки, должен располагаться на глубине не менее 1/2 радиуса от поверхности.

Таблица 2.4

Механические свойства термически обработанных цементируемых легированных сталей

Марка сталей	Закалка			Отпуск		Свойства по ГОСТ 4543-71					Определено расчетом, Н/мм ²			
	Температура, °С, первой закалки или нормализации	Температура, °С, второй закалки	Охлаждающая среда	Температура, °С,	Охлаждающая среда	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	α_H , Дж/см ²	σ_{-1} по		$k = tg\alpha$ по	
											σ_T	σ_B	σ_T	σ_B
	не менее													
15X, 15XA	880	770-820	Вода или масло	180	Воздух или масло	500	700	12	45	70	330	300	79	76
20X	880	770-820	То же	180	То же	650	800	11	40	60	360	330	92	86
10Г2	900	780-800	Воздух	180	Воздух	250	430	22	50	–	–	–	–	–
18ХГ	880	780-800	Масло	200	Воздух или масло	750	900	10	40	–	400	370	115	96
18ХГТ	880-950 (воздух)	870	Масло	200	Воздух или вода	900	1000	9	50	80	400	400	115	106
20ХГР	880	–	Масло	200	Воздух или масло	800	1000	9	50	80	380	400	106	106
15ХМ	880	–	Воздух	650	Воздух	280	450	21	55	120	220	210	59	53
20ХМ	880	–	Вода или масло	500	Воздух	600	800	12	50	90	360	330	92	86
15ХФ	880	760-810	То же	180	Воздух или масло	550	750	13	50	80	350	320	90	81
12ХН2	860	780-810	То же	180	Воздух или масло	600	800	12	50	90	360	330	88	86
12ХН3А	860	760-810	То же	180	Воздух или масло	700	950	11	55	90	370	380	97	101
20ХН3А	820	–	Масло	500	Вода или масло	750	950	12	55	110	380	380	101	101
20ХГСА	880	–	Масло	500	Вода или масло	650	800	12	45	70	360	330	92	86
25ХГСА	880	–	Масло	480	Вода или масло	850	1100	10	40	60	390	440	110	115
15ХГН2ТА	960 (воздух)	840	Масло	180	Воздух или масло	750	950	11	55	100	380	380	101	101
14Х2Н3МА	880	770	Масло	180	Воздух	900	1000	10	45	80	400	400	115	106
20ХН2М	860	780	Масло	200	Вода или масло	700	900	11	50	80	370	370	97	96
18Х2Н4МА	950 (воздух)	860	Масло	550	Воздух или масло	800	1050	12	50	120	390	420	106	110

Области применения легированных сталей

Марка стали	Назначение
1	2
15X, 15XA, 20X	Небольшие детали, работающие на износ и в условиях трения при средних удельных усилиях и скоростях: мелкие шестерни, поршневые пальцы, оси, толкатели, кулачковые муфты, втулки, направляющие планки, шпиндели, плунжеры, оправки, червячные валы, копиры, упорные диски, проводки прокатных станков, детали цепей и др. Термическая обработка – цементация, закалка и низкий отпуск
18ХГТ, 20ХГР, 27ХР, 20ХГТ	Ответственные детали, работающие при больших скоростях, средних и высоких удельных усилиях при наличии ударных нагрузок: шестерни полуосей и коробок передач, сателлиты, втулки, червячные валы, кулачковые муфты, пальцы, конические кольца подшипников диаметром 60...250 мм и ролики диаметром до 25 мм и др. Термическая обработка – цементация, закалка и низкий отпуск
15ХМ, 20ХМ, 15ХФ	Цементируемые детали, которые работают на трение и должны обладать повышенной прочностью и вязкостью сердцевины: шестерни, поршневые пальцы, распределительные валики, кулачковые муфты, втулки, направляющие планки, шпиндели, оправки, червячные валы, копиры, плунжеры, толкатели и др. Термическая обработка – цементация, закалка и низкий отпуск. Эти же стали применяют для труб рекуператора. Термическая обработка – цементация, закалка и низкий отпуск или улучшение
20ХН, 12ХН2	Детали, от которых требуется повышенная вязкость, прочность и прокаливаемость: шестерни, шлицевые валы, шпонки, детали крепежа, поршневые пальцы, штоки. Термическая обработка: для деталей из стали 20ХН – цементация, закалка и низкий отпуск или закалка и низкий отпуск; для деталей из стали 12ХН2 – цементация, закалка и низкий отпуск
12ХН3А, 20ХН3А	Цементируемые и цианируемые детали, от которых требуется сочетание высокой прочности, пластичности, вязкости и твердости поверхности: шестерни, венцы, поршневые пальцы, распределительные валики, оси, ролики,

1	2
	втулки, силовые шпильки
12Х2Н4А, 20Х2Н4А	Крупные детали, которые должны обладать высокими прочностью, пластичностью, вязкостью и твердостью при хорошей прокаливаемости: ответственные шестерни, валы, ролики, поршневые пальцы
30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА	Валики, оси, фланцы, корпуса, крепежные детали, рычаги, толкатели, ответственные сварные конструкции, работающие при знакопеременных нагрузках, и др. Используют для нагруженных деталей относительно небольших сечений взамен хромоникелевых и хромомолибденовых сталей. Оптимальные механические свойства (высокая прочность и ударная вязкость) обеспечиваются после изотермической обработки при температуре 350 °С
18Х2Н4МА	Наиболее ответственные крупногабаритные шестерни, коленчатые валы с поверхностно упрочненными шейками, шатуны, шестеренчатые валы и др. Термическая обработка – цементация, закалка и низкий отпуск или улучшение

Для деталей, работающих при знакопеременных нагрузках, важнейшим показателем является предел выносливости, на величину которого влияет большое число факторов – химический состав стали, условия термической и механической обработки, температура, среда и др. Особое влияние оказывает микроструктура стали – увеличение в структуре закаленной стали остаточного аустенита свыше 10% существенно снижает предел выносливости.

Углеродистые стали (40, 45, 50) обладают небольшой прокаливаемостью (на глубину до 10...12 мм), поэтому их применяют для мелких деталей или для более крупных, но работающих при невысоких нагрузках и не требующих сквозной прокаливаемости. Детали, от которых требуется высокая поверхностная твердость (коленчатые валы, шестерни и др.), подвергают закалке с нагревом ТВЧ.

Химический состав и механические свойства этих сталей регламентируются ГОСТ 1050-74 (для сталей марок 35Г, 40Г, 45Г, 50Г – ГОСТ 4543-71). Качественные стали отличаются от стали обычного качества меньшим содержанием серы, фосфора и других вредных примесей, более узкими пределами содержания углерода в каждой марке, что позволяет применять для изделий из этих сталей различные виды термической обработки с целью получения широкого диапазона механических свойств.

В табл. 2.6 приведены механические свойства улучшаемых углеродистых сталей, а в табл. 2.7 эти свойства для некоторых сталей при повышенных температурах. Области применения качественных углеродистых сталей указаны в табл. 2.8.

Таблица 2.6

Механические свойства улучшаемых углеродистых сталей

Марка стали	Термическая обработка заготовок	$\sigma_T, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$\alpha_H, \text{Дж/см}^2$	Определено расчетом, Н/мм ²			
							$\sigma_{.1}$ по		$k=\text{tg}\alpha$ по	
							σ_T	σ_B	σ_T	σ_B
не менее										
30	Нормализация	300	500	21	50	80	230	220	55	53
35	Нормализация	320	540	20	45	70	240	240	58	55
40	Нормализация	340	580	19	45	60	250	250	62	56
45	Нормализация	350	610	16	40	50	260	260	65	58
50	Нормализация	380	640	14	40	40	270	270	69	59
55	Нормализация	390	660	13	35	–	270	270	70	60
60	Нормализация	410	690	12	35	–	280	280	74	60
65	Нормализация	420	710	10	30	–	280	280	75	61
70	Нормализация	430	730	9	30	–	290	290	77	62
30Г	Закалка + отпуск при 600 °С	320	550	20	45	80	240	240	63	61
35Г	То же	340	570	18	45	70	240	250	65	63
40Г	То же	360	600	17	45	60	250	260	66	66
45Г	То же	380	630	15	40	50	270	270	68	69
50Г	То же	400	660	13	40	40	280	280	70	72
60Г	Нормализация	420	710	11	35	–	280	280	72	78
65Г	Нормализация	440	750	9	–	–	290	300	74	82
70Г	Нормализация	460	800	8	–	–	310	310	76	87

Таблица 2.7

Механические свойства улучшенных углеродистых сталей при повышенных температурах

Марка стали	Температура испытания, °С	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	Ψ , %	α_H , Дж/см ²	Примечание
30	20	330	540	25	52	60	Горячекатаное состояние
	200	310	590	20	39	80	
	300	210	590	21	51	70	
	400	190	510	23	64	60	
	500	150	360	24	70	40	
	600	80	200	35	83	80	
35	20	330	540	24	52	60	Горячекатаное состояние
	200	310	510	19	53	70	
	300	310	590	19	49	80	
	400	200	590	21	51	70	
	500	150	360	24	70	40	
	600	80	190	34	82	80	
42	20	370	670	24	50	60	Нормализация при 850 °С, отпуск при 650°С
	200	280	600	20	51	90	
	300	370	650	25	47,5	90	
	400	320	550	26	4	80	
	500	230	350	27	68	60	
	600	130	180	27	62	90	
45	20	360	640	22	50	50	Нормализация при 840°С
	200	350	700	10	46	60	
	300	260	550	22	44	70	
	400	230	540	21	65	60	
	500	180	380	23	67	40	
	600	150	220	33	70	60	
60	20	520	720	17	60	—	Улучшение
	200	540	700	14	—	—	
	300	460	570	27	—	—	
	500	330	470	30	—	—	

Области применения качественных углеродистых сталей

Марка стали	Назначение
1	2
30, 35	Без термической обработки: оси, рычаги, тяги, фланцы, валики и другие малонагруженные детали, станины прокатных станов, цилиндры и др. После закалки и низкого отпуска (HRC 30—40): валики, винты, штифты, упоры, кольца, шайбы, оси, траверсы и другие мелкие детали повышенной прочности, а также сварные детали, подвергаемые термической обработке. После нормализации или закалки с высокого отпуска: тяги, оси, цилиндры, колонны прессов, коленчатые валы, шатуны, крепежные детали, шпиндели, звездочки, подушки, серьги, траверсы, валы, бандажи, цилиндры прессов. После цементации: установочные и крепежные винты, гайки, звездочки, штифты, диски, шпиндели, втулки, соединительные муфты, оси, серьги, рычаги и другие детали станков, которые должны обладать высокой твердостью поверхности
40, 45	После закалки и отпуска (HRC 40—50) — 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. После улучшения — детали, работающие при небольших скоростях и средних удельных нагрузках: шестерни, валы, работающие в подшипниках качения, шлицевые валики, втулки зубчатых муфт, оси, бандажи, коленчатые, распределительные и шестеренные валы, штоки, шпиндели, траверсы, плунжеры, болты, пальцы и звенья траков, арматура насосов, шатуны, хвостовики, цилиндры, коромысла, оправки, шпиндели прокатных станов, шестерни, штоки и др. После закалки с нагрева токами высокой частоты — детали средних и крупных размеров, которые должны обладать высокой твердостью поверхности и повышенной износостойкостью при малой деформации: шестерни, валы, работающие в подшипниках скольжения при средней окружной скорости
50, 55	После нормализации с отпуском и закалки с отпуском: шпиндели, валы, венцы, цапфы, бандажи; коленчатые валы, эксцентрики, шестерни, муфты, штоки, плунжеры,

1	2
	шестеренные валы, молотки, диски, рессоры, пружины, оси сателлитов, распределительные валы, венцы маховиков, пальцы траков, пальцы звеньев гусениц, валки горячей прокатки, оси, шестерни, эксцентрики и другие детали, работающие на трение
60, 65, 70, 75 80, 85	Круглые и плоские пружины различных размеров, пружины амортизаторов, рессоры, зажимные шайбы, диски сцепления, эксцентрики, шпиндели, регулировочные прокладки и другие детали, работающие в условиях трения и под действием статической и вибрационной нагрузок, а также прокатные валки (сталь 60), пружины, рессоры и бандажки (сталь 70), крановые колеса (сталь 70 и 75), выпускные клапаны компрессора, диски сцепления и др. (сталь 85)
60Г, 65Г, 70Г	Плоские и круглые пружины, рессоры, пружинные кольца, шайбы, подающие и зажимные цанги, упорные и стопорные кольца и другие детали пружинного типа, от которых требуются высокие упругие свойства и износостойкость; бандажки, тормозные барабаны, скобы, тормозные ленты, детали трансмиссий и дробильных машин, втулки, лопасти вентиляторов и другие детали общего и тяжелого машиностроения

Легированные улучшенные стали имеют значительно большую прокаливаемость, чем углеродистые. Это позволяет получать высокие механические свойства в больших сечениях с использованием всех видов термической обработки. Химический состав и механические свойства этих сталей регламентированы ГОСТ 4543-71.

У *хромистых сталей* (40Х, 45Х, 50Х) с увеличением содержания углерода повышается прочность, но снижаются пластичность и вязкость. Эти стали прокаливаются на глубину 15...20 мм, применяются для деталей небольшого сечения, работающих без значительных динамических нагрузок. Они склонны к отпускной хрупкости, поэтому охлаждение деталей с температуры высокого отпуска должно быть быстрым.

Хромистая сталь с бором (30ХРА) имеет повышенные прочность и прокаливаемость (на глубину 20...30 мм).

Хромоникелевые стали (40ХН, 45ХН, 50ХН) обеспечивают высокий комплекс механических свойств в деталях сечением до 70 мм. Эти стали применяют для ответственных, сильно нагруженных деталей при наличии ударных нагрузок, например коленчатых валов, шатунов, шестерен, осей и др. Недостаток этих сталей – большая склонность к отпускной хрупкости.

Хромокремнемарганцевые стали (30ХГС, 30ХГСА), называемые хромансилями, не содержат дефицитных легирующих элементов, имеют высокие механические свойства, хорошо свариваются, штампуются, прокаливаются до глубины 20 мм; заменяют хромоникелевые стали.

Хромоникельмолибденовые стали (40ХН2МА, 38ХН3МА) – глубоко прокаливающиеся (на глубину более 100 мм), высокопрочные и вязкие стали, не склонные к отпускной хрупкости; теплоустойчивы до 450...500 °С. Применяются для крупных деталей наиболее ответственного назначения (шатунов, роторов, турбин, деталей редукторов и др.).

Высокопрочные мартенситно-старяющие стали. Это практически безуглеродистые (с содержанием углерода < 0,03 %) сплавы железа с никелем (8-20 %), дополнительно легированные другими элементами (Ti, Mo, Co, Al). Упрочнение их достигается благодаря наличию мартенситной структуры, получаемой при закалке, и старению (отпуску).

Наибольшее распространение в технике получила сталь марки 03Н18К9М5Т. После закалки на воздухе выше 800...850 °С сталь состоит из безуглеродистого мартенсита и отличается высокими пластичностью ($\delta=20\%$, $\psi=80\%$) и вязкостью ($KCU=2$ МДж/м²). Предел прочности $\sigma_B=1100$ МПа. Старение при 480...520 °С приводит к сильному упрочнению вследствие выделения из мартенсита дисперсных частиц вторичных фаз (Ni₃Ti, Fe₂Mo). Предел прочности повышается до 2000 МПа при сохранении достаточных пластичности и вязкости ($KCU=0,35$ МДж/м²).

Таблица 2.9

Механические свойства термически обработанных улучшаемых легированных сталей

Марка сталей	Закалка		Отпуск		Свойства по ГОСТ 4543-71					Определено расчетом, Н/мм ²			
	Температура, °С,	Охлаждающая среда	Температура, °С,	Охлаждающая среда	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	α_H , Дж/см ²	σ_{-1} по		$k = \text{tg}\alpha$ по	
										σ_T	σ_B	σ_T	σ_B
					не менее								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30X	860	Масло	500	Вода или масло	700	900	12	45	70	370	370	97	96
35X	860	Масло	500	Вода или масло	750	930	11	45	70	380	380	101	99
40X	860	Масло	500	Вода или масло	800	1000	10	45	60	380	400	106	106
45X	840	Масло	500	Вода или масло	850	1050	9	45	50	390	420	110	110
30Г2	880	Масло или воздух	600	Воздух	350	600	15	45	–	260	260	64	66
35Г2	870	Масло или воздух	650	Воздух	370	630	13	40	–	270	270	67	69
40Г2	860	Масло или воздух	650	Воздух	390	670	12	40	–	280	280	69	73
45Г2	850	Масло или воздух	650	Воздух	410	700	11	40	–	290	300	71	76
50Г2	840	Масло или воздух	650	Воздух	430	750	11	35	–	300	310	73	81
40ХГТР	840	Масло	550	Вода или масло	800	1000	11	45	80	380	400	106	106
35ХГФ	870	Масло	630	Вода или масло	800	930	14	55	80	380	380	106	99
33ХС	920	Вода или масло	630	Вода или масло	700	900	13	50	80	370	370	97	96

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
38XC	900	Масло	630	Масло	750	950	12	50	70	380	390	101	101
30XM	880	Масло	540	Вода или масло	750	950	11	45	80	380	380	101	101
35XM	850	Масло	560	Вода или масло	850	950	12	45	80	390	380	110	101
38XM	850	Масло	580	Воздух	900	1000	11	45	70	400	400	115	106
40XMФА	860	Масло	580	Масло	950	1050	13	50	90	410	420	120	110
40XH	820	Вода или масло	500	Вода или масло	800	1000	11	45	70	380	400	106	106
45XH	820	Вода или масло	530	Вода или масло	850	1050	10	45	70	390	420	110	110
50XH	820	Вода или масло	530	Вода или масло	900	1100	9	40	50	400	440	115	115
30XH3A	820	Масло	530	Вода или масло	800	1000	10	50	80	380	400	106	106
38XГH	850	Масло	570	Вода или масло	700	800	12	45	100	370	340	97	86
30XГC	880	Масло	540	Вода или масло	850	1100	10	45	40	390	440	110	115
30XH2MA	860	Масло	530	Воздух	800	1000	10	45	80	390	410	106	106
40XH2MA	850	Масло	620	Вода или масло	950	1100	12	50	80	410	440	120	115
38XH3MA	850	Масло	590	Воздух	1000	1100	12	50	80	410	440	124	115
25X2H4MA	850	Масло	560	Масло	950	1100	11	45	90	410	440	120	115
30XH2MФА	860	Масло	680	Воздух	800	900	10	40	90	390	370	106	096
38X2Ю	930	Вода или масло	630	Вода или масло	750	900	10	45	80	380	370	101	96
38X2MЮA	940	Вода или масло	640	Вода или масло	850	1000	14	50	90	410	400	110	106

Применяют также менее легированные стали, например 02Н12Х5МЗ, 04Х11Н9М2Д2ТЮ, с несколько меньшей прочностью. Мартенситно-старяющие стали находят применение для ответственных деталей в само-лето- и судостроении, ракетной технике.

В табл. 2.9 приведены механические свойства термически обработанных улучшаемых легированных сталей, а в табл. 2.10 – области их применения

Таблица 2.10

Области применения улучшаемых легированных сталей

Марка стали	Назначение
1	2
30Х, 30ХГА, 35Х	Детали, работающие в условиях средних и высоких удельных усилий и скоростей при небольших ударных нагрузках: оси, валы, шестерни, пальцы, втулки, болты, оправки, катки, подушки, балансиры, трансмиссионные валы. Термическая обработка – нормализация, улучшение, закалка с нагревом т. в. ч., цианирование
38ХА, 40Х	Детали, работающие в условиях средних и высоких давлений и скоростей при небольших ударных нагрузках; оси, валы, шестерни, пальцы, втулки, шатуны, шатунные болты и гайки, фланцы, рычаги, шпиндели, оправки, червячные валы, рейки, муфты, кривошипы, полуоси, фрикционные диски, штоки и другие детали в автотракторном и общем машиностроении; нажимные винты, валки станов горячей прокатки, шпиндели, ролики, валики, оси, валы, втулки, шпильки, шатуны, уплотнительные пластины спекательных тележек, ходовые колеса скипов, била, детали цепей маневрирования конусами и другие детали в металлургическом машиностроении. Термическая обработка – улучшение, закалка с нагревом т. в. ч., цианирование
45Х, 50Х	Детали, работающие в условиях высоких удельных усилий при небольших ударных нагрузениях; оси, валы, шестеренные валы, кольца, шестерни, втулки, пальцы, прокатные валки, крупные шестерни, упорные кольца, ролики распределителя шихты. Термическая обработка – закалка и отпуск при разных температурах

Продолжение таблицы 2.10

1	2
35Г2, 40Г2	Коленчатые валы, полуоси, цапфы, оси, рычаги, валики, шестерни, кольца, болты, поршневые штоки, распределительные валы, карданные валы и др.
50Г2	Карданные валы, шестерни, втулки подшипников, диски трения, плоские спиральные пружины, шатуны, рычаги, оси, болты и гайки высокой прочности, диски пил горячей резки, валки горячей прокатки, ролики спекательных тележек (литые), бандажи валков валковых дробилок (литые), била молотковых дробилок, ходовые колеса скипов (литые), ходовые колеса кранов (литые), ролики распределителя шихты. Термическая обработка – закалка и отпуск (для дисков пил – электродно-контактная или высокочастотная закалка)
35ХС, 40ХС	Валы муфт сцепления, рычаги переключения передач, валы коробок скоростей, шайбы, оси, балансиры, кривошипы, торсионные валы, диски трения. Термическая обработка — улучшение
30ХМ, 30ХМА, 35ХМ, 38ХМ	Валы, оси, цапфы, втулки, шпильки, шестерни, зажимные патроны, фланцы трубопроводов, крепежные детали, детали трубопроводов высокого давления, работающих при повышенных температурах (до 400 °С). Термическая обработка – улучшение.
40ХФА	В улучшенном состоянии — валы, шпиндели, оси, втулки, траверсы, шестерни, крепежные детали трубопроводов высокого давления, работающие при температурах до 400 °С; после азотирования – шпильки, пальцы, шестерни и другие детали, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости и износостойкости
40ХН, 45ХН, 50ХН	Крупные детали, от которых требуется высокая прочность, повышенная вязкость и хорошая прокаливаемость; коленчатые валы, шатуны, шестерни, болты, шпиндели, рычаги, цилиндры, оси, червячные валы, кулачковые муфты. Термическая обработка – улучшение. Сталь 50ХН часто используют для изготовления валков станов горячей прокатки
38ХГН	Валы, оси, детали крепежа и другие ответственные детали машиностроения, от которых требуется повышенная прочность и прокаливаемость. Термическая обработка – улучшение
38Х2МЮА	Ответственные детали, упрочняемые азотированием: шестерни, ролики, валики, копиры, плунжеры, направляющие

1	2
	втулки, гильзы цилиндров, рессоры, тарелки букс, стаканы, распылители, распределительные валики, шпиндели, валы и другие детали, работающие при температурах до 450 °С, от которых требуется высокая поверхностная твердость, износостойкость, повышенный предел выносливости и минимальная деформация при термической обработке

1.3. Рессорно-пружинные стали

Стали, предназначенные для изготовления пружин и рессор, должны допускать большие упругие деформации и иметь пластические свойства, обеспечивающие работу витых и других пружин без поломок при перегрузках, должны противостоять циклическим нагрузкам (особенно колебательного характера). В соответствии с этим стали для пружин и рессор должны обладать высоким пределом упругости и пределом выносливости, достаточной вязкостью и пластичностью.

Предел текучести углеродистых пружинных сталей после окончательной термической обработки должен превышать 800 Н/мм², а легированных – 1000 Н/мм². Показатели пластичности должны быть $\delta \geq 5\%$ и $\psi \geq 20\%$.

Углеродистые стали для пружин и рессор имеют низкую коррозионную стойкость и невысокую релаксационную стойкость. Малая прокаливаемость этих сталей ограничивает их применение – обычно только для изготовления пружин и рессор небольшого сечения.

Легированные стали обладают более высокими прочностными свойствами, повышенной вязкостью и сопротивлением хрупкому разрушению, более высокой релаксационной стойкостью, возможностями закалки в масле и даже на воздухе. Эти стали более предпочтительны для изготовления пружин и рессор.

Механические свойства (минимальные) рессорно-пружинных сталей предусмотрены ГОСТ 14959-79. Это стали: 65, 70, 75, 85, 65Г, 65Г2, 70Г, 60С2,

70СЗА, 50ХГ, 55КГР, 60ГСА, 50ХГФА и др. Режимы термической обработки: температура закалки в масле 820...870°C, температура отпуска 420...480°C.

На предел выносливости стали пружин и рессор большое влияние оказывает состояние поверхности, к которой предъявляют повышенные требования. Обезуглероживание поверхности также значительно снижает усталостную прочность. Предел выносливости рессор и пружин значительно повышается за счет дробеструйной или гидроабразивной обработки, создающей наклеп. Оптимальным интервалом твердости для рессор, обеспечивающим максимальный предел выносливости, является HRC 39...44. Повышение твердости до HRC 47 снижает предел выносливости. Свойства пружинно-рессорной стали могут быть существенно повышены за счет применения изотермической закалки на нижний бейнит.

В табл. 2.11 приведены области применения некоторых рессорно-пружинных сталей.

Таблица 2.11

Области применения рессорно-пружинных сталей

Марка стали	Назначение
1	2
65, 70, 75, 85	Плоские пружины прямоугольного сечения толщиной 3...12 мм (сталь 65); пружины из проволоки диаметром 0,14...8 мм с холодной навивкой; пружины различных размеров с последующим отпуском при 300 °С (стали 70, 75 и 85); рессоры, пружины и бандажи локомотивов (сталь 70)
65Г	Плоские и круглые пружины, рессоры, пружинные кольца, шайбы, гровера и другие детали пружинного типа, от которых требуются высокие упругие свойства и повышенное сопротивление изнашиванию
55ГС	Рессоры толщиной 3...14 мм
50С2, 55С2	Рессоры, подвески, натяжные пружины; детали, работающие на переменный изгиб. Обычно применяют полосу сталь толщиной 3...18 мм и желобчатую сталь (для

1	2
	рессор) толщиной 7...13 мм. Механические свойства ее в продольном и поперечном направлениях различны. Сталь склонна к обезуглероживанию
60С2, 60С2А	Рессоры 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. Сталь склонна к обезуглероживанию, устойчива против роста зерна, обладает глубокой прокаливаемостью. Максимальная рабочая температура +250 °С
70С3А	Тяжелонагруженные пружины ответственного назначения. Сталь глубоко прокаливается, обладает высоким пределом упругости, но очень хрупка после отпуска при 400...425 °С, поэтому температура отпуска ее должна быть не ниже 450 °С; склонна к графитизации и обезуглероживанию, но устойчива против роста зерна
55ХГР	Для изготовления рессорной полосы толщиной 3...16 мм. Легирование бором повышает предел упругости и модуль упругости стали
60С2ХФА, 70С2ХА, 65С2ВА	Ответственные и высоконагруженные пружины и рессоры, изготавливаемые из круглой калиброванной стали (сталь 60С2ХФА), из полосовой калиброванной стали (сталь 60С2Н2А), из тонкой пружинной ленты (стали 65С2ВА, 70С2ХА)

1.4. Шарикоподшипниковые стали

Стали для изготовления деталей подшипников (колец, шариков, роликов) считаются конструкционными, но по составу и свойствам относятся к инструментальным. Наибольшее применение имеет высокоуглеродистая хромистая сталь ШХ15. Заэвтектоидное содержание в ней углерода (0,95%) и хрома (1,3...1,65%) обеспечивает получение после закалки высокой равномерной твердости, устойчивости против истирания и достаточной вязкости.

На качество стали и срок службы подшипника вредно влияют карбидные ликвации, полосчатость и сетка. На физическую однородность стали

вредно влияют неметаллические (сульфидные и оксидные) и газовые включения, макро- и микропористость.

Сталь ШХ15 применяют для деталей небольших сечений. Для деталей более крупных подшипников в целях улучшения их прокаливаемости применяют хромокремнемарганцевые стали ШХ15СГ и ШХ20СГ.

Для изготовления деталей крупногабаритных подшипников для прокатных станов, железнодорожного транспорта, работающих в тяжелых условиях при больших ударных нагрузках, применяют цементируемую сталь 20Х2Н4А.

1.5. Автоматные стали

Автоматные стали марок А12, А20, А30, А35Е, А40Г отличаются от других конструкционных сталей повышенным содержанием серы (до 0,3%) и фосфора (до 0,15%).

Характерной особенностью автоматных сталей является хорошая обрабатываемость резанием, поскольку сера образует большое количество включений сернистого марганца MnS , нарушающих сплошность металла, а фосфор, растворяясь в феррите, сильно снижает его вязкость. Обрабатываемость улучшают также присадкой к стали небольшого количества свинца, селена и других элементов. При механической обработке автоматных сталей образуется короткая, ломкая стружка, что особенно важно при работе на быстроходных станках-автоматах. Поверхность обработанных деталей получается чистой и ровной.

Недостаток автоматных сталей – пониженная пластичность. Это связано с тем, что большое количество сернистых включений образует полосчатую структуру. Поэтому автоматные стали применяют для изготовления малоответственных деталей, от которых не требуется высоких механических свойств (крепежные детали, пальцы, втулки и т. п.).

1.6. Инструментальные стали

Инструментальные стали применяют для изготовления режущего и измерительного инструмента, а также штампов.

Стали для режущих инструментов. Сталь для режущих инструментов (резцов, сверл, метчиков, фрез, протяжек и др.) должна обладать высокими твердостью, износостойкостью, теплостойкостью, т. е. способностью сохранять при нагреве рабочего лезвия свои структуру и свойства.

Углеродистые инструментальные стали – это заэвтектоидные стали марок У10 (У10А), У11 (У11А), У12 (У12А), У13 (У13А). Исходная структура – зернистый перлит. Для получения высокой твердости (HRC 62...63) стали закаливают в воде с последующим отпуском.

Высокая твердость стали сохраняется при нагреве до температуры 200°С. Глубина прокаливаемости сталей 10...12 мм. Из-за низкой прокаливаемости и плохой теплостойкости эти стали применяют для слесарных инструментов небольших размеров при легких условиях резания материалов с низкой твердостью.

Легированные инструментальные стали по сравнению с углеродистыми имеют следующие преимущества: большую прокаливаемость (возможность изготовления инструмента больших сечений), меньшую чувствительность к перегреву, возможность применения при закалке более умеренных охладителей (масла, горячие среды), что уменьшает деформацию и коробление инструмента.

Наиболее широко применяют стали 9ХС, ХВГ, ХВСГ, твердость которых после закалки и отпуска не менее HRC 61. Они имеют более высокую теплостойкость (до 250°С). Недостаток этих сталей – склонность к обезуглероживанию при нагреве под закалку. Стали применяются для изготовления протяжек, сверл, разверток, зенкеров.

Как и углеродистые, легированные стали не обладают высокой устойчивостью к отпуску и пригодны только для легких условий резания.

Быстрорежущие стали широко применяют для изготовления разнообразных режущих инструментов, работающих при высоких скоростях резания. Быстрорежущие стали обозначают буквой Р. Следующая за ней цифра указывает среднее содержание вольфрама в процентах. Стали, содержащие

кобальт, молибден, ванадий более 1%, имеют в обозначении марки соответственно буквы К, М, Ф и цифры, показывающие их среднее количество в процентах. Содержание хрома (около 4% во всех сталях) в марках сталей не указывается.

Наиболее распространены быстрорежущие стали марок P18, P6M5 (теплостойкость до 620°C). Кроме того, применяют стали с повышенным содержанием ванадия (P9Ф5, P14Ф4), кобальтовые (P9К5, P9К10), кобальтованадиевые (P10К5Ф5, P18К5Ф2), обладающие повышенной до 640°C теплостойкостью.

Для закалки быстрорежущую сталь нагревают (обычно в соляных ваннах) до высоких температур (например, сталь P18 до 1270...1290 °C), что необходимо для растворения части карбидов и получения при нагреве высоколегированного аустенита и соответствующего мартенсита, обеспечивающего высокую теплостойкость стали.

При охлаждении (обычно в масле) аустенит превращается в мартенсит, но не весь, часть его (25...30%) сохраняется в виде остаточного аустенита. Структура быстрорежущей стали после закалки – мартенсит + карбиды + остаточный аустенит, поэтому ее твердость не выше HRC 62. При отпуске (550...570°C), обычно трехкратном, происходят выделение из мартенсита мелкодисперсных карбидов, а также превращение остаточного аустенита в мартенсит закалки, благодаря чему твердость повышается до HRC 64. Точка конца мартенситного превращения быстрорежущей стали располагается ниже 0°C, поэтому сталь можно обрабатывать холодом (-80°C) с последующим однократным отпуском. Для улучшения режущих свойств и повышения износостойкости некоторые виды инструмента подвергают низкотемпературному цианированию, в результате которого на поверхности стали образуется тонкий слой высокой твердости HV 1000...1100.

Стали для измерительных инструментов. Для изготовления измерительных инструментов применяют стали марок X, ХВГ и др. Для измерительных инструментов (особенно высоких классов точности) большое

значение имеет постоянство формы и размеров в течение длительного срока службы. Постепенное изменение размеров закаленного инструмента в течение длительного времени, что связано с уменьшением тетрагональности решетки мартенсита, мартенситным превращением остаточного аустенита и уменьшением и перераспределением внутренних напряжений – явление нежелательное. Поэтому при термической обработке измерительного инструмента большое внимание уделяется стабилизации напряженного состояния, стабилизации мартенсита и остаточного аустенита. Это достигается соответствующим режимом низкого отпуска и обработкой холодом при температурах до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Плоские инструменты – шаблоны, скобы, линейки – изготавливают из листовой стали 15, 15X, подвергают цементации, закалке и низкому отпуску.

Штамповые стали. Инструмент для штамповки металла в холодном состоянии работает в условиях повышенного износа при значительных нагрузках, различного характера нагружения (плавное, ударное) и нагрева поверхностных слоев. Поэтому штамповая сталь для *холодного деформирования* должна обладать высокими твердостью и износостойкостью, достаточной вязкостью, малой деформируемостью при закалке, достаточными прокаливаемостью и теплостойкостью.

Штампы небольших размеров (диаметром до 25...30 мм), простой формы, работающие в легких условиях, изготавливают из углеродистых сталей У10, У12, а для штампов большего размера используют стали с лучшей прокаливаемостью – X, ХВСГ.

Для крупных штампов наиболее часто применяют высокохромистые стали X12Ф1 и X12М, обладающие высокой износостойкостью, хорошей прокаливаемостью и малой деформируемостью при закалке в масле.

Для тяжелонагруженных штампов, используемых при объемном деформировании, применяют комплексно-легированные стали, например сталь 8Х4В2С2МФ. После термической обработки твердость таких сталей составляет HRC 61...63.

Штамповые стали для *горячего деформирования* должны иметь высокие механические свойства (прочность и вязкость) при повышенных температурах, выдерживать циклические нагревы и охлаждения без образования трещин (сетки разгара), должны глубоко прокаливаться и быть достаточно теплопроводными. Этому соответствуют близкие по своему составу стали 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ, применяемые для изготовления молотовых штампов.

Стали 3Х2В8Ф, 5ХЗВ3МФС и другие используют для производства вытяжных и высадочных штампов, а также пресс-форм для литья под давлением. К этим сталям предъявляют повышенные требования по теплостойкости и разгаростойкости.

1.7. Стали и сплавы с особыми свойствами

Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали. Углеродистые и низколегированные стали подвержены коррозии, т. е. разрушаются от химического воздействия окружающей среды. По механизму протекания процесса различают два вида коррозии: *химическую* и *электрохимическую*. Явления, возникающие при электрохимической коррозии, аналогичны процессам в гальваническом элементе.

Стали, устойчивые к электрохимической коррозии, называют коррозионно-стойкими (нержавеющими). Антикоррозионными свойствами сталь обладает в том случае, если она легирована большим количеством хрома или хрома и никеля.

Хромистые коррозионно-стойкие стали. Содержание хрома в стали должно быть не менее 12%. При меньшем содержании хрома сталь не способна сопротивляться коррозии, так как ее электродный потенциал становится отрицательным. Широко применяют стали марок 12Х13, 40Х13, 12Х17, 08Х17Т.

Сталь 12Х13 (мартенситно-ферритного класса) обладает после закалки и отпуска твердостью НВ 200...250. Эта сталь противостоит действию слабоагрессивных сред (воздуха, воды, пара). Применяется для деталей с повы-

шенной пластичностью (клапаны гидравлических прессов, предметы домашнего обихода и др.).

Сталь 40X13 (мартенситного класса) после термической обработки обладает высокой твердостью (HRC 52...55) и применяется для хирургических инструментов, пружин, предметов домашнего обихода и др.

Более коррозионно-стойкая (в кислотных средах) сталь ферритного класса 12X17, применяемая (в отожженном состоянии) для химического и пищевого оборудования.

Хромоникелевые коррозионно-стойкие стали. Эти стали содержат большое количество хрома и никеля, мало углерода и относятся к аустенитному классу. Кроме аустенита в этих сталях находятся карбиды хрома.

Для получения однофазной структуры аустенита сталь, например марки 12X18Н9, закаливают в воде с температуры 1100...1150 °С. При этом достигается наиболее высокая коррозионная стойкость, но прочность сравнительно невысока. Для повышения прочности сталь подвергают пластической деформации в холодном состоянии.

Так же как и сталь ферритного класса, сталь 12X18Н9 склонна к межкристаллитной коррозии при нагреве закаленной до температуры 550...750°С (например, при сварке или при работе в условиях повышенных температур). Для предотвращения коррозии в состав стали вводят титан (например, сталь 12X18Н9Т) или снижают содержание в ней углерода (например, сталь 04X18Н10).

Хромоникелевые стали аустенитного класса имеют большую коррозионную стойкость, чем хромистые, и их широко применяют в химической, нефтяной и пищевой промышленности, автостроении, транспортном машиностроении, а также в строительстве.

Для экономии дорогостоящего никеля его частично заменяют марганцем. Например, сталь 10X14Г14НЗ используют как заменитель стали 12X18Н9.

Сталь аустенитно-мартенситного класса 09X15Н8Ю применяют для тяжело нагруженных деталей, работающих в атмосферных условиях, в ук-

сусной кислоте, растворах солей. Сталь аустенитно-ферритного класса 08X21H6M2T применяют для изготовления деталей и сварных конструкций, работающих в средах повышенной агрессивности – в уксусной, серной, фосфорной кислотах.

Жаростойкие стали и сплавы. К ним относят стали и сплавы, обладающие стойкостью к химическому разрушению поверхности в газовых средах при температурах выше 550 °С и работающие в *ненагруженном* или *слабонагруженном* состоянии. Жаростойкость принято характеризовать температурой начала интенсивного окалинообразования в воздушной среде, когда на поверхности стали образуются сначала тонкая пленка окислов, которая с течением времени увеличивается, и затем окалина.

На интенсивность окисления влияет состав и строение окисной пленки. Если она пористая, окисление происходит интенсивно, если плотная – окисление замедляется или даже совершенно прекращается.

Для получения плотной (защитной) окисной пленки сталь легируют хромом, а также кремнием или алюминием. Степень жаростойкости зависит от количества находящегося в стали легирующего элемента. Так, сталь 15X5 с содержанием 4,5...6,0% хрома жаростойка до температуры 700 °С, сталь 12X17 (17% хрома) – до 900 °С, сталь 15X28 – до 1100-1150 °С (стали 12X17 и 15X28 являются также и нержавеющей). Еще более высокой жаростойкостью (до 1200°С) обладают сплавы на никелевой основе с хромом и алюминием, например сплав ХН70Ю (26...29% хрома; 2,8...3,5% алюминия).

Структура стали на жаростойкость не влияет.

Жаропрочные стали и сплавы. К ним относят стали и сплавы, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью.

На уменьшение прочности стали влияет не только само повышение температуры, но и длительность действия приложенной нагрузки. В послед-

нем случае под действием постоянной нагрузки сталь «ползет», поэтому данное явление названо *ползучестью*. Итак, ползучесть – это деформация, непрерывно увеличивающаяся и завершающаяся разрушением под действием постоянной нагрузки при длительном воздействии высокой температуры. Для углеродистых и легированных конструкционных сталей ползучесть наблюдается при температурах выше 350°C.

Факторами, способствующими повышению жаропрочности, являются: высокая температура плавления основного металла; наличие в сплаве твердого раствора и мелкодисперсных частиц упрочняющей фазы; пластическая деформация, вызывающая наклеп; высокая температура рекристаллизации; рациональное легирование; термическая и термомеханическая обработка; введение в жаропрочные стали в долях процента таких элементов, как В, Се, Nb, Zn.

Жаропрочные стали и сплавы классифицируют по основному признаку – температуре эксплуатации.

Для работы при температурах до 350...400°C применяют обычные конструкционные стали (углеродистые и низколегированные).

Для работы при температуре 400...550°C применяют легированные стали перлитного класса, например 15ХМ, 12Х11МФ. Для этих сталей основной характеристикой является предел ползучести, так как они предназначены главным образом для изготовления деталей котлов и турбин, например труб паропроводов и пароперегревателей, нагруженных сравнительно мало, но работающих весьма длительное время (до 100 000 ч). Эти стали содержат мало хрома и поэтому обладают невысокой жаростойкостью (до 550...600°C).

Для работы при температуре 500...600°C применяют стали мартенситного класса: высокохромистые, например 15Х11МФ для лопаток паровых турбин; хромокремнистые (называемые сильхромами), например 40Х9С2 для клапанов мототоров; сложнелегированные, например 20Х12ВНМФ для дисков, роторов, валов, турбин.

Для работы при температуре 600...750°C применяют стали аустенитного класса, разделяемые на неупрочняемые (нестареющие), например сталь 09X14H16B, предназначенная для труб пароперегревателей и трубопроводов установок сверхвысокого давления, и упрочняемые (стареющие) сложнелегированные стали, например сталь 45X4H14B2M, применяемая для клапанов моторов, деталей трубопроводов, и сталь 40X15H7Г7Ф2МС для лопаток газовых турбин.

Жаростойкость сталей аустенитного класса 800...850 °С.

Для работы при 800...1100°C применяют жаропрочные сплавы на никелевой основе, например ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ для лопаток турбин. Эти сплавы стареющие и подвергаются такой же термической обработке (закалке и старению), как и стареющие стали аустенитного класса. Жаростойкость сплавов на никелевой основе до 1200°C.

В зависимости от основной структуры, получаемой при охлаждении стали на воздухе после высокотемпературного нагрева, коррозионностойкие и жаропрочные стали делят на шесть классов. К мартенситному классу относятся стали с основной структурой мартенсита. Они содержат до 17% Cr и небольшие добавки вольфрама, молибдена, ванадия и никеля. Это стали 15X5, 20X13, 15XM, 20XM и др.

К мартенситно-ферритному классу относятся стали, содержащие в структуре, помимо мартенсита, не менее 10 % феррита. Эти стали содержат 11...17% Cr и небольшое количество других элементов. Содержание углерода не превышает 0,15%. Их термическая обработка заключается в закалке с отпуском либо в нормализации с отпуском. Это стали 12X13, 14X17H2, 15X12ВНМФ, 18X12ВМБФР.

К ферритному классу относятся стали, имеющие структуру феррита. Они содержат малое количество углерода, до 30% Cr и небольшие добавки титана, ниобия и других элементов. Стали: 08X13, 12X17Т, 15X25Т, 15X28.

К аустенитно-ферритному классу относятся стали, имеющие структуру аустенита и мартенсита, количество которых можно менять в широких пределах. Стали: 20X13H4Г9, 09X15H8Ю, 07X16H6, 09X17H7ЮЖ, 08X17H5M3.

К аустенитно-ферритному классу относятся также стали, имеющие структуру аустенита и феррита (феррита более 10 %). Особую группу сталей аустенитного класса составляют экономно легированные никелем и безникелевые стали. В табл. 2.12, 2.13 и 2.14 приведено примерное назначение коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей.

Таблица 2.12

Области применения коррозионностойких сталей

Марка стали	Назначение	Примечание
1	2	3
20X13, 08X13, 12X13	Детали с повышенной пластичностью, подвергающиеся динамическим нагрузкам: бандажи, трубы, а также изделия, подвергающиеся действию слабоагрессивных сред (атмосферные осадки, водные растворы солей, органических кислот при комнатной температуре и др.)	Наибольшая стойкость против коррозии достигается после термической обработки (закалка с отпуском) и полировки
25X13H2	То же	Обладает хорошей обрабатываемостью резанием
95X18	Шарикоподшипники высокой твердости, ножи высшего качества, втулки и другие детали, работающие в коррозионноактивной среде и подвергающиеся интенсивному изнашиванию	Сталь применяется после закалки с низким отпуском
12X17	Крепежные детали, валики, втулки и другие детали аппаратов и сосудов, работающих в разбавленных растворах азотной, уксусной, лимонной кислот, в растворах солей, обладающих окислительными свой-	Применяется в отожженном состоянии; для изготовления сварных конструкций не рекомендуется

1	2	3
	ствами	
09X15H8Ю	Рекомендуется как высокопрочная сталь для изделий, работающих в атмосферных условиях, уксусно-кислых и других солевых средах и для упругих элементов	Повышенная прочность достигается применением отпуска при температурах 750—850 °С
20X17H2	Рекомендуется как высокопрочная сталь для тяжело нагруженных деталей, работающих на истирание и удар в слабоагрессивных средах	Обладает высокой твердостью (<HRC45)
08X21H6M2T	Детали и сварные конструкции, работающие в средах повышенной агрессивности: уксусно-кислых, серно-кислых, фосфорно-кислых	Рекомендуется как заменитель стали 10X17H13M2T. Обладает более высокой прочностью, чем эта сталь
15X17AG14	Изделия, работающие в средах слабой агрессивности. Хорошо сопротивляется атмосферной коррозии	Рекомендуется как заменитель стали 12X18H9
10X17H13M2T 10X17H13M3T	Сварные конструкции, работающие в условиях действия кипящей фосфорной, серной и уксусной кислот	—
15X18H12C4TЮ	Сварные изделия, работающие в воздушных и агрессивных средах	Не склонна к трещинообразованию и коррозии под напряжением
12X18H10T 12X18H9T 12X18H12T	Сварные конструкции, работающие в разбавленных растворах кислот, щелочей и солей, а также корпуса и другие детали, работающие под давлением при температуре от —196 до +600 °С, а при наличии агрессивных сред — до +350 °С	—
09X16H4Б	Высокопрочные штамповочные конструкции и детали, работающие в контакте с агрессивными средами	Наибольшей коррозионной стойкостью обладает после закалки с низким отпуском (до 400 °С)

Таблица 2.13

Области применения жаростойких сталей

Марка стали	Назначение	Температура, °С		Примечание
		t ₁	t ₂	
15X5	Трубы	600...650	–	–
40X9C2	Клапаны выпуска автомобильных, тракторных и дизельных моторов, трубы рекуператоров, теплообменники, колосники	–	850	Устойчива в серосодержащих средах
15X6СЮ	Детали котельных установок, трубы	–	800	То же
12X13	Детали турбин, трубы, детали котлов	–	700	–
10X13СЮ	Клапаны автотракторных моторов, различные детали	–	950	Устойчива в серосодержащих средах
12X17	Теплообменники, трубы	–	900	–
15X25Т	Аппаратура, чехлы термодар, электроды искровых зажигательных свечей, теплообменники	–	1100	–
15X28	Аппаратура, детали, теплообменники	–	1050	–
20X20Н14С2	Печные конвейеры, ящики для цементации	–	1050	Устойчива в науглероживающих средах
08X18Н10 08X18Н10Т	Трубы и детали печной арматуры, теплообменники, муфелы, реторты, патрубки и коллекторы выхлопных систем	800	850	Неустойчива в серосодержащих средах
36X18Н25С2	Печные конвейеры и другие нагруженные детали	1000	1100	Устойчива в науглероживающих средах
20X25Н20С2	Подвески и опоры в котлах, трубы электролизных и пиролизных установок	1050	1100	В интервале 600...800 °С склонна к охрупчиванию

Таблица 2.14

Области применения высоколегированных жаропрочных сталей

Марка стали	Назначение	Рабочая температура, °С	Срок службы	Температура интен- сивного окалинообра- зования, °С
40X9C2, 40X10C2M	Клапаны моторов, крепежные детали	650	Длительный	850
20X13, 12X13, 08X13	Лопатки паровых тур- бин, клапаны, болты и трубы	550	Весьма дли- тельный	750
15X12ВНМФ	Роторы, диски, лопат- ки, болты	850	Длительный	950
10X11Н23Т3МР	Пружины и детали крепежа	650	Весьма дли- тельный	750
45X14Н14В2М	Клапаны моторов, по- ковки, детали трубо- проводов	650	Длительный	850
14X17Н2	Рабочие лопатки, диски, валы, втулки	400	Длительный	800
08X16Н13М2Б	Поковки для дисков и роторов, лопатки, болты	600	Весьма дли- тельный	850
09X16Н15М3Б	Трубы пароперегрева- телей и трубопрово- дов высокого давле- ния	550	Весьма дли- тельный	850
12X18Н10Т 12X18Н9Т 12X18Н12Т	Детали выхлопных систем, трубы, листо- вые и сортовые де- тали	600	Весьма дли- тельный	850
10X23Н18	Трубы, арматура (при пониженных на- грузках)	1000	Длительный	1050

Высокомарганцовистая, износостойкая сталь 110Г13Л. Сталь 110Г13Л содержит 1,2% углерода и 13% марганца. Эта сталь аустенитного класса имеет высокое сопротивление изнашиванию. Характерным для нее является то, что высокая износостойкость сочетается с высокой прочностью ($\sigma_B = 1000$ МПа) и низкой твердостью (НВ 210). У закаленных инструментальных сталей сопротивление изнашиванию обусловлено высокой твердостью. Высокая износостойкость стали 110Г13Л объясняется упрочнением (наклепом) при пластической деформации в процессе работы, в результате которого аустенит в поверхностном слое превращается в мартенсит. По мере изнашивания этого слоя мартенсит образуется в следующем слое и т. д. При отсутствии повышенных давлений, например при абразивном изнашивании, эта сталь не имеет достаточно высокой износостойкости. Сталь 110Г13Л применяют для трамвайных стрелок, щек камнедробилок, козырьков ковшей, черпаков и траков гусениц.

Магнитные стали и сплавы. Основными магнитными характеристиками сталей и сплавов являются следующие свойства: остаточная индукция B_r , коэрцитивная сила H_c и магнитная проницаемость μ . Если магнитная проницаемость больше единицы, то такие тела называются *парамагнитными*, а если меньше единицы – *диамагнитными*. Частным случаем парамагнитных тел являются ферромагнитные тела — железо, никель и кобальт, магнитная проницаемость которых во много раз больше, чем у других парамагнитных тел.

Магнитные сплавы в зависимости от значений коэрцитивной силы и магнитной проницаемости делят на *магнитотвердые* – сплавы с большой коэрцитивной силой ($H_c > 4$ кА/м) и малой магнитной проницаемостью (их применяют для постоянных магнитов) и *магнитомягкие*, для которых характерны малая коэрцитивная сила ($H_c < 4$ кА/м) и высокая магнитная проницаемость (трансформаторная и динамная стали).

Магнитотвердые стали и сплавы. Такими материалами являются высокоуглеродистые стали, легированные стали и специальные сплавы.

Углеродистые стали У10, У11, У12 после закалки имеют достаточно большую коэрцитивную силу ($H_c = 4,8 \dots 5,2$ кА/м), но они прокаливаются только на небольшую глубину, поэтому их применяют для изготовления магнитов с диаметром сечения 4...7 мм.

Хромистые стали ЕХ, ЕХЗ по сравнению с углеродистыми прокаливаются значительно глубже, поэтому из них изготавливают более крупные магниты. Магнитные свойства этих сталей такие же, как и у углеродистых. Хромокобальтовые стали, например ЕХ5К5, имеют более высокие магнитные свойства: $H_c > 8$ кА/м.

Специальные магнитные сплавы, например сплав ЮНДК40Т8АА (14% Ni, 7,5% Al, 40% Co, 3,5% Cu, 7,5% Ti, 0,25% Si), имеют большое значение коэрцитивной силы ($H_c = 144$ кА/м), что позволяет изготавливать из них сильные магниты небольших размеров.

Магнитные сплавы имеют очень высокую твердость, но хрупки и обрабатываются только шлифованием или электроэрозионным способом. Магниты из этих сплавов изготавливают литьем или спеканием из порошка.

Магнитомягкие стали и сплавы. К ним относятся железоникелевые сплавы (пермаллой) и ферриты, электротехническое железо (армкожелезо), электротехническая сталь,

Электротехническое железо (марки Э, ЭА, ЭАА) содержит не более 0,4% углерода, имеет высокую магнитную проницаемость и малую коэрцитивную силу ($H_c = 64 \dots 96$ А/м). Применяется для изготовления сердечников, полюсных наконечников электромагнитов и др.

Электротехническая сталь (Э11, Э12, ... Э48) содержит до 4,8% кремния. Растворяясь в феррите, кремний сильно искажает кристаллическую решетку, увеличивает магнитную проницаемость, снижает коэрцитивную силу.

Более высокие магнитные свойства имеет крупнозернистая листовая электротехническая сталь с преимущественным расположением зерен вдоль листа.

Первая цифра в обозначении указывает на среднее содержание кремния в процентах, вторая – гарантированные электрические и магнитные свойства.

Железоникелевые сплавы (пермаллои) содержат 45...80% никеля, их дополнительно легируют хромом, кремнием, молибденом. Магнитная проницаемость этих сплавов очень высокая. Наиболее высокие свойства имеют пермаллои марки 79НМ (79% Ni и 4% Mo).

Пермаллои применяют в аппаратуре, работающей в слабых магнитных полях (в аппаратуре связи).

Ферриты – магнитомягкие материалы, получаемые спеканием смеси порошков оксида железа Fe_2O_3 и оксидов двухвалентных металлов (ZnO, NiO, MgO и др.). В отличие от других магнитомягких материалов у ферритов очень высокое удельное электрическое сопротивление ($r = 10^{12}$ Ом·см), что определяет их применение в устройствах, работающих в области высоких и сверхвысоких частот.

Сплавы со специальными свойствами. Сплавы с высоким электрическим сопротивлением применяют для изготовления электронагревателей и элементов резисторов и реостатов.

Сплавы для электронагревателей обладают высокой жаростойкостью, высоким электрическим сопротивлением, удовлетворительной пластичностью в холодном состоянии. Указанные требования удовлетворяют железохромоалюминиевые сплавы (например, марок Х13Ю4 – фехраль, ОХ23Ю5 – хромаль) и никелевые сплавы (например, марок Х15Н60 – ферронихром, Х20Н80 – нихром). Жаростойкость нагревателей из железохромоалюминиевых сплавов выше, чем у нихромов. Сплавы производят в виде проволоки и ленты. Их применяют для бытовых приборов (сплавы Х13Ю4, Х15Н60, Х20Н80), а также для промышленных и лабораторных печей (сплав ОХ23Ю5).

Сплавы для изготовления проволочных резисторов и реостатов обладают высоким сопротивлением, малым температурным коэффициентом сопротивления в области рабочих температур и неизменностью электрических

свойств во времени. Указанным требованиям соответствуют медноникелевые сплавы МНМц3-12 – манганин – и МНМц40-1,5 – константан.

Сплавы с заданным коэффициентом теплового расширения содержат большое количество никеля. Сплав 36Н – инвар – почти не расширяется при температурах от -60 до +100 °С. Он применяется для деталей приборов, требующих постоянных размеров в интервале климатических изменений температур (например, детали геодезических мерных приборов). Сплав 29НК – ковар – имеет коэффициент теплового расширения в интервале температур от -70 до +420 °С, совпадающий по значению с аналогичным коэффициентом стекла. Он применяется для деталей, впаиваемых в стекло при создании вакуумно-плотных спаев.

Сплавы с заданными упругими свойствами немагнитные, коррозионно-стойкие в агрессивных средах, обладают высокой прочностью, высокими упругими свойствами. К этим сплавам относится сплав 40КХНМ, применяемый для заводных пружин часовых механизмов, витых цилиндрических пружин, работающих при температурах до 400 °С.

Примерно такими же свойствами обладает высокопрочный сплав 42НХТЮ с низким температурным коэффициентом модуля упругости. Он применяется для упругих чувствительных элементов, работающих при температуре до 100 °С.

1.8. Стали для отливок

Отливки из конструкционной и легированной сталей регламентированы ГОСТ 977-75. В зависимости от назначения и требований, предъявляемых к литым деталям, они подразделяются на три группы:

I – отливки общего назначения для деталей, конфигурация и размеры которых определяются только конструктивными и технологическими соображениями;

II – отливки ответственного назначения для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических и циклических нагрузках;

Таблица 2.15

Механические свойства отливок из углеродистой конструкционной стали после термической обработки

Марка стали	Толщина стенки, мм	Режим термической обработки (температура нормализации, заковки, отпуска, °С)*	$\sigma_T, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$\alpha_{НВ}, \text{Дж/см}^2$	Твердость НВ	Определено расчетом, Н/мм ²			
									σ_{-1} по		$k=\text{tg}\alpha$ по	
			σ_T	σ_B	σ_T	σ_B						
15Л	≤100	Н.900...920	200	400	24	35	50	109...136	180	200	38	49
20Л	≤100	Н.880...900, О.620...650	220	420	22	35	50	116...144	200	210	42	50
25Л	≤100	Н.880...900, О.630...650	240	450	19	30	40	124...151	210	220	45	51
	≤100	З.870...890, в.О.630...650	300	500	22	33	—	150...170	—	—	—	—
30Л	>100	Н.880...900, О.630...650	210	420	15	25	35	117...156	—	—	—	—
	≤100	Н.880...900, О.630...650	260	480	17	30	35	131...157	210	230	48	52
35Л	≤100	Н.870...890, О.630...650	280	500	15	25	35	137...166	220	230	52	53
	>100	Н.870...980, О.630...650	250	470	13	20	40	131...207	—	—	—	—
	>100	З.860...880, м,О.500...550	400	600	10	20	40	179...269	—	—	—	—
40Л	≤100	Н.860...880, О.580...600	300	530	14	25	30	146...173	230	240	55	54
45Л	≤100	Н.860...880, О.630...650	320	550	12	20	30	153...172	240	250	58	55
	≤100	З.830...850, м,О.550...600	400	750	10	20	25	210	—	—	—	—
	>100	Н.860...880, О.630...650	300	530	10	18	25	148...217	—	—	—	—
50Л	≤100	Н.850...870, О.630...650	340	580	11	20	25	159...190	250	250	62	56
55Л	≤100	Н.840...860, О.630...650	350	600	10	18	25	170...199	260	260	64	57
	≤100	З.790...810, м,О.580...600	470	860	15	—	—	—	—	—	—	—

* В таблице приняты обозначения: Н – нормализация, З – заковка, О – отпуск, в – охлаждение в воде, м – охлаждение в масле

Таблица 2.16

Механические свойства отливок из легированных стали после термической обработки

Марка стали	Режим термической обработки (температура нормализации, закалки, отпуска, °С)*	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	α_H , Дж/см ²	НВ
		не менее					
20ГЛ	Н.930...970, О.600...650	300	550	18	25	50	143...187
35ГЛ	З.850...860, в, О. 600...650	350	600	14	30	50	—
45ГЛ	З.860...880, в, О. 580...600	500	700	10	25	40	217...269
30ГСЛ	Н.870...890, О.570...600	350	600	14	25	30	163...229
32Х06Л	З.890...910, м, О.620...660	450	650	10	20	50	170...229
40ХЛ	З.850...860, м, О.600...650	500	650	12	25	40	197...229
30ХГСЛ	Н.870...890, О.570...600	350	600	14	25	30	163...240
35ХМЛ	Н.860...880, О.600...650	400	600	12	20	30	163.225
35ХН2МЛ	З.840...860, в, О.580...600	700	800	10	20	40	234.302
13ХНДФГЛ	Н.960...970, О.500...560	400	500	18	30	50	143...188
20ДХЛ	Н.880...890, О.560...600	400	500	12	30	30	143...187
20ДХЛ	З.880...890, м, О.560...600	550	650	12	30	40	187...240
25Х2Г2ФЛ	З.900...930, м, О.280...300	1200	1400	5	25	40	402...474
150ХНМЛ	Н.1030...1070, Н.810...830 О.460...500	—	—	—	—	—	363...444
10Х13Л	З.1050, в, О.750...770	400	550	20	50	80	—
75Х28Л	Без термообработки	350	550	—	—	—	217...269

* В таблице приняты обозначения: Н – нормализация, З – закалка, О – отпуск, в – охлаждение в воде, м – охлаждение в масле

III — отливки особо ответственного назначения для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при динамических (ударных) нагрузках.

Производство фасонных деталей методами литья из различных сталей широко распространено, в том числе и в металлургической промышленности. Отливки, как правило, подвергают предварительной и окончательной обработке. Предварительная термическая обработка отливок состоит из нормализации или нормализации и отпуска, или отжига. Производится для снятия остаточных напряжений, улучшения обрабатываемости резанием, подготовки структуры к окончательной термической обработке, повышения механических свойств. Окончательная термическая обработка состоит из нормализации и отпуска, улучшения, иногда химикотермической обработки или поверхностной закалки с нагревами токами высокой частоты (т. в. ч) или газовым пламенем.

Механические свойства отливок из некоторых углеродистых конструкционных и легированных сталей приведены в табл. 2.15 и 2.16, а области их применения – в табл. 2.17 и 2.18.

Таблица 2.17

Области применения углеродистой стали для отливок

Марка стали	Назначение
1	2
15Л	Мульды разливочных машин, шлаковые ковши, поддоны, копровые бабы, крышки цилиндров, арматура печей, рычаги, педали, ключи, блоки, ролики, корпуса, захваты, пильные рамы, плиты, подушки, детали трубопроводов и сварно-литых конструкций с большим объемом сварочных работ и другие детали, работающие под воздействием средних статических и динамических нагрузок и в условиях значительных колебаний температур
20Л	Шаботы, арматура, детали трубопроводов, крышки, патрубки, фасонные отливки деталей общего машиностроения, изготавливаемые методом выплавляемых моделей, детали сварно-литых конструкций с большим объемом сварочных работ и другие неответственные детали,

1	2
	работающие под действием средних статических и динамических нагрузок
25Л	Станины прокатных станов, шкивы, траверсы, поршни, кронштейны, буксы, крышки цилиндров, плиты настильные, рамы рольгангов и тележек мульд, корпуса подшипников, рычаги, балансиры, зубчатые колеса, маховики, арматура паровых турбин и котлов, оси, валы, бабы паровых молотов, детали насосов, детали сварнолитых конструкций и другие детали, работающие под воздействием средних статических и динамических нагрузок
30Л	Рычаги сцепления, корпуса редукторов, ступицы колес, зубчатые колеса, корпуса турбин, станины прокатных станов и металлорежущих станков, маховики, балансиры, детали сварно-литых конструкций, чаши и конусы загрузочных устройств доменных печей, балки, опорные кольца, бандажи и другие детали, работающие при средних статических и динамических нагрузках. Как правило, детали применяют в нормализованном или улучшенном состоянии
35Л	Катки, тяги, кронштейны, колеса, вилки, картеры, цилиндры, маховики, зубчатые колеса, тяги, бабы паровых молотов, задвижки, балансиры, станины прокатных станов и металлорежущих станков и другие детали, работающие при средних статических и динамических нагрузках. Детали, как правило, применяют в нормализованном и улучшенном состояниях и после закалки с нагревом токами высокой частоты
40Л, 45Л	Станины, корпуса, втулки компрессоров, зубчатые колеса и венцы, тормозные диски, кожухи, опорные катки, рычаги, звездочки, храповики, вилки, клинья и другие детали, к которым предъявляются требования повышенной прочности и износостойкости. Как правило, детали применяют в нормализованном и улучшенном состояниях и после закалки с нагревом токами высокой частоты
50Л, 55Л	Зубчатые колеса и муфты подъемно-транспортных машин, ходовые колеса, зубчатые сектора и венцы, полумуфты, тормозные диски разливочных машин, втулки зубчатых муфт, валки крупно-, средне- и мелкосортных прокатных станов и другие детали, к которым предъявляются требования повышенной твердости. Детали применяют в нор-

1	2
	мализованном и улучшенном состояниях и после закалки с нагревом токами высокой частоты
70Л	Ходовые колеса диаметром до 1000 мм мостовых кранов большой грузоподъемности. Применяют после сорбитизации (закалки с самоотпуском)

Таблица 2.18

Области применения легированной стали для отливок

Марка стали	Назначение
1	2
20ГЛ, 27ГЛ	Шкивы, траверсы, кронштейны, буксы, рамы рольгангов и тележек мульд, рычаги, балансиры, зубчатые колеса, детали, применяемые в сварно-литых конструкциях и др.
35ГЛ	Диски, звездочки, зубчатые венцы, барабаны, шкивы, крестовины, траверсы, ступицы, вилки, кулачковые муфты, крышки подшипников, цапфы, детали экскаваторов, щеки дробилок, бандажи бегунов и другие детали дробильно-размольного оборудования
40ГЛ	Бандажи, колеса, шестерни, зубчатые шкивы, траверсы, ступицы, вилки, кулачковые муфты, крышки подшипников и другие детали, подвергающиеся изнашиванию и небольшим ударным нагрузкам
20ГСЛ, 25ГСЛ	Детали сварно-литых конструкций с большим объемом сварочных работ, колонны, лопасти и валы гидротурбин, зубчатые венцы и колеса, втулки, секторы, колонны, ролики, рычаги, фланцы, фасонные отливки арматуры и трубопроводов, цилиндры гидропрессов
30ГСЛ	Рычаги, фланцы, секторы, венцы зубчатые, ролики и др.
80ГСЛ	Футеровочные плиты шаровых мельниц
40ХЛ	Фасонные отливки небольших размеров сложной конфигурации, изготавливаемые по выплавляемым моделям; отливки простой конфигурации, отливаемые в земляные формы; зубчатые колеса, бандажи, секции вагоноопрокидывателей и другие детали, к которым предъявляются требования повышенной прочности и твердости
70ХЛ	Футеровочные плиты шаровых мельниц, бегунки и другие детали простой конфигурации, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости

1	2
30ХГСЛ	Шестерни, подушки и другие детали несложной конфигурации, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости
35ХГСЛ	Зубчатые колеса, звездочки, оси, валы, муфты и другие ответственные детали, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости
35ХМЛ	Шестерни, крестовины, втулки, зубчатые венцы, пластины пластинчатых питателей и другие детали, работающие при повышенных температурах и нагрузках
35ХНЛ	Шестерни, крестовины, втулки, зубчатые колеса экскаваторов, вертикальные валки слябингов
110Г13Л, 110Г13ХМЛ	Детали, работающие на износ в условиях ударных нагрузок и высоких давлений; корпуса и футеровочные плиты дробилок и шаровых мельниц, била (молотки) дробилок, зубья и передние стенки ковшей экскаваторов, звенья гусениц тракторов и экскаваторов, малые конусы загрузочных устройств доменных печей, футеровочные плиты по тракту перемещения шихтовых материалов в агломерационных и доменных цехах
150ХМНЛ	Бандажи составных опорных валков всех размеров листовых станов горячей прокатки металла, валки среднесортных станов (НВ241...277), валки непрерывно-заготовочных и штрипсовых станов (НВ262...293), валки проволочных станов (НВ363...444).
250Х25В3ТЛ	Проводковая арматура прокатных станов, чистовые валки проволочных и сортовых станов и другие детали, подвергаемые интенсивному изнашиванию при повышенных температурах
10Х13Л	Корпусы насосов и другие детали, работающие в коррозионноактивной среде и при температуре до 500 °С
Х20Н14С2Л	Печные конвейеры, ящики для цементации и другие детали, работающие при высоких температурах в нагруженном состоянии

1.9. Стали для поковок

Поковки по механическим свойствам подразделяют по категориям прочности. Категории прочности обозначаются буквами КП и цифрами, соответствующими значению предела текучести. Например, обозначение КП35 показывает, что предел текучести равен 350 Н/мм².

Таблица 2.19

Категории прочности и соответствующие им нормы механической обработки

Категория прочности	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %, не менее				ψ , %, не менее				α_H , Дж/см ² , не менее				НВ(по- верхности поковок)
			Диаметр (толщина) поковок сплошного сечения												
	не менее		≤100	100- 300	300- 500	500- 800	≤100	100- 300	300- 500	500- 800	≤100	100- 300	300- 500	500- 800	
КП18	180	360	28	24	22	20	55	50	45	40	65	60	55	50	101...143
КП20	200	400	26	23	20	18	55	50	45	38	60	55	50	45	111...156
КП22	220	440	24	20	18	16	53	48	40	35	55	50	45	40	123...157
КП25	250	480	22	19	17	15	48	42	35	30	50	40	35	35	143...179
КП28	280	540	20	17	15	13	40	38	32	30	45	35	30	30	156...197
КП32	320	580	17	14	12	11	38	35	30	30	40	35	30	30	167...207
КП35	350	600	18	17	14	12	45	40	38	33	60	55	50	40	174...217
КП40	400	630	17	15	13	11	45	40	35	30	60	55	50	40	187...229
КП45	450	650	16	14	13	11	45	40	35	30	60	55	50	40	197...235
КП50	500	670	16	13	12	11	45	40	35	30	60	55	50	40	212...248
КП55	550	700	15	13	12	10	45	40	35	30	60	50	45	40	223...262
КП60	600	750	14	13	12	10	45	40	35	30	60	50	45	40	235...277
КП65	650	800	13	12	11	10	42	38	33	30	60	50	45	40	248...293
КП70	700	850	13	12	11	10	42	38	33	30	60	50	40	40	262...311
КП75	750	900	13	12	11	–	40	35	30	–	60	50	40	40	277...321
КП80	800	950	12	11	10	–	40	35	30	–	60	50	40	40	293...331

Имеется 16 категорий прочности. В каждую категорию прочности входит от 5 до 15 различных марок сталей. Значения δ , ψ и α_H для каждой категории зависят от диаметра (толщины) поковок (табл. 2.19).

Размеры поковок должны учитывать припуски на механическую обработку, допуски на размеры и технологические напуски для поковок, изготовляемых горячей штамповкой (ГОСТ 7505-74), свободной ковкой на прессах (ГОСТ 7062-79), молотах (ГОСТ 7829-70).

2. Чугуны

Чугун представляет собой сплав железа с углеродом (более 2,14%) и другими элементами. В зависимости от состава, условий кристаллизации и скорости охлаждения углерод в чугуне может находиться в химически связанном состоянии в виде цементита (белые чугуны) или в структурно свободном состоянии в виде графита (серые чугуны). Белые чугуны имеют высокую твердость, хрупки, плохо обрабатываются резанием. Серые чугуны обладают более высокими технологическими и прочностными свойствами; их чаще всего применяют как конструкционный материал.

Маркировку чугунов осуществляют путем сочетания букв и цифр. Приняты следующие буквенные обозначения: Ч – чугун; С – серый; К – ковкий; В – высокопрочный; М – модифицированный. Цифрами обозначают механические свойства чугуна. В марках серого чугуна первые две цифры после букв указывают предел прочности при растяжении, вторые – предел прочности при изгибе в Н/мм². В ковком и высокопрочном чугунах первые две цифры обозначают предел прочности при растяжении, вторые – относительное удлинение.

В табл. 2.20...2.24 приведены виды, механические свойства чугунных отливок и области их применения, а в табл. 2.25 – механические свойства чугунных отливок при различных видах нагружения.

Виды чугуновых отливок и области их применения

Виды отливок	Назначение отливок и условия их применения
Из обычного серого чугуна (с пластинчатым графитом)	Определяющий фактор – механические свойства: при $\sigma_{в} \leq 240 \text{ Н/мм}^2$ отливки изготавливают из простых чугунов, при $\sigma_{в} > 240 \text{ Н/мм}^2$ применяют модифицирование, легирование и их сочетание
Из высокопрочного чугуна (с шаровидным графитом)	Как конструкционный материал с высокой прочностью и удовлетворительной пластичностью (иногда вместо стали). Могут обладать и специальными свойствами. Структуру получают путем введения специальных модификаторов (магния, церия) в жидкий чугун
Из чугуна со специальными свойствами	Детали, требующие жаростойкости, ростоустойчивости, жаропрочности, коррозионной стойкости, немагнитности и др.
Из ковкого чугуна	Детали машин, требующие высокой прочности и пластичности. Получение структуры основано на отжиге отливок, имеющих в литом состоянии структуру белого чугуна
Из белого чугуна	Детали, не требующие механической обработки и работающие в условиях абразивного изнашивания при сухом трении; исходный материал для получения ковкого чугуна
Из отбеленого чугуна	Детали, работающие на изнашивание аналогично белому чугуну. Отбеленный слой расположен лишь на рабочей поверхности отливки

Таблица 2.21

Механические свойства отливок из серого чугуна и области их применения

Марка чугуна	$\sigma_{в.р.} \text{ Н/мм}^2$	$\sigma_{в.р.} \text{ Н/мм}^2$	Стрела прогиба мм, при расстоянии между опорами, мм		НВ	Назначение
			600	300		
			не менее			
1	2	3	4	5	6	7
СЧ00	–	–	–	–	–	Детали простой конфигурации, не обрабатываемые

Окончание таблицы 2.21

1	2	3	4	5	6	7
						или подвергаемые незначительной механической обработке: крышки, подкладки, опоры, грузы
СЧ12-38	120	280	6	2	143-229	Детали, работающие при небольшом напряжении и без трения: кожухи, плиты стойки, крышки
СЧ15-32 СЧ18-36	150 180	320 360	8 8	2,5 2,5	163-229 170-229	Детали, работающие при среднем напряжении и на износ при малых (до 50 Н/мм ²) удельных нагрузках: столы, салазки, шкивы кронштейны и др.
СЧ21-40 СЧ24-44 СЧ28-48 СЧ32-52	210 240 280 320	400 440 480 520	9 9 9 9	3 3 3 3	170-241 170-241 170-241 187-269	Детали, работающие при повышенном напряжении и на износ при удельных усилиях 50...200 Н/мм ² : станины металлорежущих станков, зубчатые колеса, маховики, тормозные барабаны, гильзы и поршни дизелей
СЧ36-56 СЧ40-60 СЧ44-64	360 400 440	560 600 640	9 10 10	3 3,5 3,5	197-269 207-269 229-289	Гидроцилиндры, корпуса гидронасосов и компрессоров высокого давления, головки блоков двигателей, кулачки

Таблица 2.22

Механические свойства отливок из ковкого чугуна

Марка чугуна	$\sigma_{в.р.}$ Н/мм ²	δ , %	НВ, не более	Марка чугуна	$\sigma_{в.р.}$ Н/мм ²	δ , %	НВ, не более
	не менее				не менее		
1	2	3	4	5	6	7	8
КЧ30-6	300	6	163	КЧ50-4	500	4	241
КЧ33-8	330	8	163	КЧ56-4	560	4	269
КЧ35-10	350	10	163	КЧ60-3	600	3	269
КЧ37-12	370	12	163	КЧ60-4	630	2	269
КЧ45-6	450	6	241				

Таблица 2.23

Механические свойства отливок из высокопрочного чугуна

Марка чугуна	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	α_H , Дж/см ²	НВ
	не менее				
ВЧ38-17	380	240	17	60	140-170
ВЧ42-12	420	280	12	40	140-200
ВЧ45-5	450	330	5	30	160-220
ВЧ50-2	500	380	2	20	180-260
ВЧ60-2	600	400	2	20	200-280
ВЧ70-3	700	400	3	30	229-275
ВЧ80-3	800	500	3	20	220-300
ВЧ100-4	1000	700	4	30	302-369
ВЧ120-4	1200	900	4	30	302-369

Таблица 2.24

Свойства отливок из жаростойкого чугуна

Марка чугуна	$\sigma_{B,p,2}$ Н/мм ²	$\sigma_{B,p,2}$ Н/мм ²	НВ	$\sigma_{B,p}$ (Н/мм ²) при температуре, °С				Предельная температура эксплуатации в воздушной среде, °С
	при температуре 20 °С			500	600	700	800	
ЖЧХ-0,8	180	360	207-286	200	150	70	30	550
ЖЧХ-1,5	150	320	207-286	200	150	80	30	600
ЖЧХ-2,5	—	320	228-364	170	150	90	30	650
ЖЧХ-30	360	500	370-550	400	360	230	150	1000
ЖЧС-5,5	100	240	140-225	120	100	50	20	800
ЖЧСШ-5,5	420	—	228-321	450	390	120	40	900
ЖЧЮ-22	90	220	140-286	100	—	70	40	1000
ЖЧЮШ-22	250	350	241-375	250	280	170	140	1100

Таблица 2.25

Механические свойства чугунных отливок при различных видах нагружения

Марка чугуна	Предел прочности (Н/мм ²) при				Предел выносливости (Н/мм ²) при	
	изгибе $\sigma_{B,и}$	растяжении $\sigma_{B,р}$	сжатии $\sigma_{B,с}$	кручении τ_B	изгибе σ_{-1}	кручении τ_{-1}
1	2	3	4	5	6	7
СЧ15-32	320	150	650	240	70	50
СЧ18-36	360	180	700	260	80	60
СЧ21-40	400	210	750	280	100	80

Окончание таблицы 2.25

1	2	3	4	5	6	7
СЧ24-44	440	240	850	300	120	100
СЧ28-48	480	280	1000	350	140	110
СЧ32-52	520	320	1100	390	140	110
СЧ36-56	560	360	1200	400	150	115
СЧ40-60	600	400	1300	460	150	115
КЧ30-6	490	300	310	340	90	80
КЧ33-8	530	330	340	340	95	90
КЧ35-10	570	350	360	350	105	95
КЧ37-12	580	370	380	370	105	95

Химический состав и свойства отливок из серого чугуна с пластинчатым графитом, высокопрочного и ковкого чугуна регламентированы ГОСТ 1412-79, ГОСТ 7293-79 и ГОСТ 1215-79.

Для работы при повышенных температурах и в окислительных средах применяют жаростойкие, коррозионностойкие и жаропрочные чугуны. Их химический состав и механические свойства регламентированы ГОСТ 7769-82.

Для чугунов широко применяется термическая обработка. При этом необходим строгий учет структуры и механических свойств материала в исходном состоянии. В результате изотермической закалки чугунных изделий значительно повышается прочность, ударная вязкость, износостойкость и другие свойства.

Серый чугун является основным литейным машиностроительным материалом. Обладает хорошими литейными свойствами, средней прочностью, малым удлинением при разрушении, ограниченной ударной вязкостью, удовлетворительной износостойкостью, хорошей обрабатываемостью резанием, сравнительно низкой стоимостью. Серые чугуны используют в узлах трения в качестве заменителя цветных металлов. Основными условиями применения антифрикционного чугуна в узлах трения являются качественная смазка и увеличение зазора по сравнению с цветными металлами на 15...30%. Хими-

ческий состав и механические свойства этих чугунов регламентированы ГОСТ 1585-79.

При выборе марки чугуна следует учитывать, что с уменьшением прочности чугунов улучшаются их литейные свойства и уменьшаются остаточные напряжения и коробление, с увеличением толщины стенок (диаметра) отливок механические свойства изделий понижаются вследствие ухудшения структуры металла.

В ковких чугунах весь углерод или значительная его часть находится в свободном состоянии в форме хлопьевидного графита (углерода отжига), что обеспечивает более высокие механические свойства в сравнении с серыми чугунами. Механическая обработка обезуглероженного ковкого чугуна позволяет получать более чистую поверхность, что является одним из важных факторов, например, в резьбовых соединениях. Ковкий чугун не куется.

Модифицированный чугун получают добавкой в ковш небольшого количества графитизирующих (ферросилиций, силикокальций или силикоалюминий) и легирующих (молибден, никель и др.) элементов. Отличается от обычного чугуна более высокими механическими и особыми свойствами: жаропрочностью, коррозионной стойкостью, возможностью термической обработки и др.

Высокопрочный чугун представляет собой серый чугун, модифицированный магнием и церием, в результате чего достигается глобулярная форма графита, что позволяет существенно уменьшить внутреннюю концентрацию напряжений; отличается высокими механическими свойствами.

Жаростойкие чугуны предназначены для эксплуатации при температурах до 1100°C.

В белых чугунах весь углерод находится в химически связанном состоянии в виде карбида железа, поэтому они отличаются высокими твердостью, хрупкостью и практически не поддаются обработке резанием. Белый чугун не находит применения в качестве конструкционного материала.

Обычно доэвтектические белые чугуны после специальной термической обработки превращаются в ковкие чугуны, а заэвтектические идут в переплавку для выплавки стали. Для изготовления трущихся изделий (валки прокатных станов, шары для мельниц и т. п.) применяют так называемые отбеленные чугуны, в которых поверхностные слои имеют структуру белого, а сердцевина – серого чугуна. Высокая твердость поверхности отбеленного чугуна (НВ 400...500) обеспечивает хорошую сопротивляемость изнашиванию.

В машиностроении используют главным образом серые, высокопрочные ковкие и антифрикционные чугуны.

В серых чугунах весь углерод находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита. Эти чугуны могут иметь структуру, состоящую из ферритной основы и включений графита. Такие чугуны содержат кроме углерода примеси кремния, марганца и фосфора. С уменьшением содержания кремния цементит, находящийся в составе перлита, распадается лишь частично, при этом образуется так называемая ферритно-перлитная структура с включениями графита. Путем модифицирования повышают прочностные характеристики серых чугунов за счет образования мелких графитных включений.

Из серых чугунов изготавливают литые детали простой конфигурации (крышки, стойки, кожухи, шкивы и т. п.)

Высокопрочный чугун получают присадкой в жидкий серый чугун добавок магния, церия и некоторых других элементов. Под влиянием добавок в чугуне образуется шаровидный графит. Такие чугуны имеют более высокие механические свойства, и отливки из них могут быть использованы вместо поковок и отливок из углеродистой стали для деталей машин, работающих в тяжелых условиях.

Из высокопрочного чугуна изготавливают коленчатые валы и поршни автомобильных и тракторных двигателей, шестерни, тормозные диски, корпуса насосов и др. Некоторые высокопрочные чугуны используются в

качестве антифрикционного материала в узлах трения с высокими окружными скоростями.

Ковкий чугун получают из белого чугуна путем длительного нагрева при высоких температурах (отжиг, томление). В результате распада цементита получается графит хлопьевидной формы.

Ковкий чугун широко используется в автомобильной, сельскохозяйственной, текстильной и других отраслях машиностроения. Из него изготавливают детали, работающие при средних и высоких статических и динамических нагрузках (подшипники, кронштейны, картеры редукторов, поршни, ступицы и др.).

Широкое применение ковкого чугуна в машиностроении связано с тем, что он дешевле стали и обладает высокой стойкостью к коррозии.

Серые, высокопрочные и ковкие чугуны применяются также в качестве антифрикционных материалов. Металлическая основа таких чугунов является в основном перлитной или перлитно-ферритной. Буква А в марках этих чугунов означает антифрикционный.

Антифрикционные серые перлитные чугуны марок АЧС-1, АЧС-2 и АЧС-3 рекомендуется применять при давлении до 500 МПа.

Антифрикционные высокопрочные чугуны с шаровидным графитом марок АЧВ-1, АЧВ-2 и ковкие антифрикционные чугуны с хлопьевидным графитом марок АЧК-1, АЧК-2 применяют в узлах трения при повышенных давлениях от 500 МПа до 1200 МПа.

Все виды антифрикционных чугунов предназначены для работы в паре с термообработанными (закаленными или нормализованными) валами и с термически не обработанными валами.

3. Медь и ее сплавы

Медь и ее свойства. Наиболее важными свойствами меди, обеспечившими ее широкое применение, являются хорошая электро- и теплопроводность, высокая пластичность и способность образовывать технологичные сплавы,

которые отлично обрабатываются и обладают хорошими механическими свойствами.

Температура плавления меди 1083 °С. Предел прочности чистой меди не очень высок и составляет 220 МПа. Ее кристаллическая решетка кубическая гранецентрированная с параметром $a = 0,361$ нм. Плотность меди 8,93 г/см³, а твердость НВ 35, что почти в два раза меньше, чем у железа.

Медные сплавы. Наиболее распространенными и известными сплавами меди являются латуни и бронзы.

Латуни. Латунями называют группу сплавов, где основными компонентами являются медь и цинк. В группу латуней входят *томпак* (90% и более меди, остальное – цинк, если эти сплавы содержат до 86% меди, их называют *полутомпаками*) и много других, не только двойных, но и более сложных сплавов. Механическая прочность латуней выше, чем меди.

Латуни хорошо обрабатываются резанием. Большим преимуществом является, кроме того, их низкая стоимость, так как цинк значительно дешевле меди. Латуни широко применяют в приборостроении, в общем и химическом машиностроении. Наиболее часто используют латуни, содержащие до 40 % цинка. Эти латуни пластичны, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии и коррозионностойки. Латуни имеют хорошие литейные свойства (большая жидкотекучесть, отсутствие ликвации, малая усадка и др.). Но при их заливке в формы необходима хорошая вентиляция цеха, так как пары, выделяющиеся из жидких латуней, вредно влияют на организм человека.

Все латуни по технологическому признаку делят на деформируемые, из которых изготавливают листы, ленты, трубы, проволоку, и литейные – для фасонного литья.

Медно-цинковые *деформируемые латуни* выпускают восьми марок: Л96, Л90, Л85, Л80, Л70, Л68, Л63, Л60.

В обозначениях марок латуней более сложного состава после буквы Л следует сокращенное обозначение легирующих элементов: О – олово, С –

свинец, Ж – железо, Мц – марганец, Н – никель, К – кремний, А – алюминий, а после них – цифры, указывающие содержание меди и других компонентов. Например: ЛС-59-1 означает латунь свинцовистая, содержащая 57...60% меди и 0,8...1,5% свинца; ЛМцА-57-3-1 – латунь марганцовисто-алюминиевая, содержащая 2,5...3,5% марганца и 0,5...1,5% алюминия.

Добавки указанных металлов к латуням улучшают их механические свойства, обрабатываемость или коррозионную стойкость. Так, добавки никеля повышают прочность и коррозионную стойкость, добавки свинца ухудшают механические свойства латуней, но улучшают обрабатываемость резанием.

В *литейных латунях* цифровые обозначения содержания меди и добавок ставить не принято. Так, латунь, содержащая 56...61% меди и 0,8...1,5% свинца, обозначается ЛС. Такая латунь предназначена для литья под давлением и других видов литья деталей для газовой, санитарной, гидравлической, пневматической аппаратуры и для электротехнических деталей.

Кремнистые латуни ЛК (80% меди, 3% кремния) и ЛКС (80% меди, 3% кремния и 3% свинца), имеющие повышенную коррозионную стойкость и обладающие хорошими антифрикционными свойствами, применяют для изготовления литьем сложных по конфигурации деталей приборов и аппаратуры, работающих в морской воде, шестерен и других трущихся деталей. Латунь ЛАЖМц, содержащая 63...70% меди, 4,0...7,0% алюминия, 1,5...3,0% марганца, 2,0...4,0% железа, предназначена для конструктивных деталей ответственного назначения, работающих при высоких знакопеременных нагрузках.

Бронзы. Широко известны сплавы меди с оловом, называемые бронзами. Из бронзы еще в древности делали оружие, орудия труда, предметы обихода, так как бронза более прочна и коррозионностойка, чем медь. Благодаря отличным литейным качествам из этих сплавов в более позднее время стали отливать пушки, колокола и статуи. Современные оловянистые бронзы

значительно тверже меди, но хорошо заполняют форму при литье и обрабатываются резанием, а также отличаются высокой коррозионной стойкостью. В настоящее время бронзы используют при изготовлении арматуры газовых и водопроводных линий, в химическом машиностроении и во многих других отраслях промышленности. Малый коэффициент трения и устойчивость к изнашиванию делает их незаменимыми при изготовлении вкладышей подшипников, червячных колес, шестерен и других деталей ответственных и точных приборов.

Бронзы маркируют русскими буквами Бр, после которых, как и в латунях, буквами указывают другие компоненты (кроме меди), а в конце – цифрами процентное содержание компонентов. Легирующие элементы обозначают: О – олово, А – алюминий, Ж – железо, Ф – фосфор, Т – титан, Ц – цинк и др. Так, БрОЦ4-3 обозначает, что в бронзе в среднем 4% олова, 3% цинка, остальное – медь.

Олово – дорогой и дефицитный металл, поэтому широкое применение нашли заменители оловянистых бронз, именуемые *безоловянистыми бронзами*. К ним следует отнести в первую очередь алюминиевые бронзы, например БрА5, и более сложные – обрабатываемые давлением, алюминиево-железномарганцовистые, например БрАЖМц10-3-1,5. Это – устойчивые к коррозии, жаропрочные и износостойкие сплавы. Они используются для изготовления деталей химической аппаратуры, а БрА5 – для изготовления монет. Алюминиевые бронзы с содержанием алюминия до 10 % характеризуются хорошей жидкотекучестью, малой ликвацией, хорошо деформируются в горячем и холодном состояниях, так как эти сплавы образуют однофазный твердый раствор алюминия и меди. Добавки никеля, железа, марганца и свинца улучшают механические и некоторые технологические свойства алюминиевых бронз. В качестве примера можно привести литейную бронзу БрА10Ж3 и БрА10Ж3Мц2.

Высокими механическими свойствами, пластичностью и коррозионной стойкостью отличаются кремнистые бронзы, например БрКН-1-3, содер-

жащая 0,6...1,1% кремния, 2,4...3,4% никеля, и марганцовистые бронзы, например БрМц5, содержащая 4,5...5,5% марганца. Очень большой прочностью и упругостью обладают бериллиевая бронза БрБ2, в состав которой входят 1,8...2,1% бериллия и 0,2...0,5% никеля (остальное медь), и некоторые другие. Из них изготавливают пружины, пружинящие контакты ответственных приборов и др.

В последнее время получил известность сплав меди и никеля – *мельхиор* – белый, блестящий, не окисляющийся на воздухе и в органических кислотах сплав, иногда называемый за свой вид китайским серебром. Он содержит около 80% меди и 20% никеля. (Нередко часть никеля и меди заменяют цинком.) Из мельхиора изготавливают украшения, столовые и чайные приборы.

Для изготовления монет применяют так называемый монель-металл (68% Ni, 28% Cu и небольшие добавки марганца и железа). Высокая коррозионная стойкость этого сплава, хорошие механические свойства и легкая обрабатываемость сделали возможным его использование для изготовления не только разменной монеты, но и хирургических инструментов, деталей машин и приборов.

4. Алюминий и его сплавы

Алюминий и его свойства. Алюминий – второй (после железа), самый применяемый в современной технике металл. Температура плавления алюминия 660°C, температура кипения около 2500°C. Наиболее важными свойствами алюминия, определяющими его широкое применение, являются

малая плотность ($\rho=2,7 \text{ г/см}^3$), высокие электропроводность (57% электропроводности меди), теплопроводность и теплоемкость. Алюминий очень быстро окисляется на воздухе, покрываясь тонкой пленкой окиси, которая в отличие от окиси железа не пропускает кислород в толщу металла. Следовательно, алюминий, несмотря на быстрое окисление, при нормальных условиях коррозионностоек. Его кристаллическая решетка – гранецентри-

рованный куб с параметром $a = 0,404$ нм. Никаких аллотропических превращений у алюминия не обнаружено.

Механические свойства алюминия сравнительно невысоки. Предел прочности на растяжение $\sigma_b = 90 \dots 180$ МПа, твердость НВ 20...40, он имеет высокую пластичность, что дает возможность прокатывать его в очень тонкие листы. Необходимо отметить, однако, трудность обработки чистого алюминия резанием, а также относительно высокую (1,8 %) литейную усадку.

Для устранения этих отрицательных свойств в алюминий вводят различные добавки, благодаря чему в настоящее время в технике используется несколько сот различных алюминиевых сплавов.

Алюминий и его сплавы широко применяются в машиностроении для изготовления различных транспортных аппаратов, поскольку это дает возможность при той же мощности двигателя повысить динамику машины. Поэтому использование сплавов алюминия в авиации хорошо известно, а в последнее время они стали широко применяться для изготовления многих деталей железнодорожных вагонов, автомобилей и подъемных кранов различных конструкций.

Широкая область применения алюминия – электротехника. Это обусловлено тем, что алюминий менее дефицитен, чем медь, и хотя его электропроводность меньше электропроводности меди, провод из алюминия с тем же сопротивлением, что и медный, хоть и большего диаметра, но легче и дешевле.

Алюминий применяется и в металлургии, где используется его большое сродство с кислородом, для получения в чистом виде дорогих и редких металлов, например хрома, ванадия и др. Низкие сорта алюминия применяются для раскисления стали.

Алюминиевые сосуды и арматура используются при производстве органических кислот. Благодаря тому, что соединения алюминия безвредны для здоровья человека, их широко применяют в пищевой промышленности для обертки конфет, сыра и других продуктов, а также для аппаратуры

молочных, пивоваренных и других предприятий пищевой промышленности.

Строение и свойства алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы принято делить на две группы: деформируемые и литейные сплавы. Первую группу делят на две подгруппы: сплавы, не упрочняемые термообработкой, и сплавы, упрочняемые термообработкой.

Деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термической обработкой, характеризуются невысокой прочностью, но хорошей пластичностью ($\delta < 40\%$). К ним относятся сплавы алюминия с марганцем и магнием, из которых наиболее широко применяются сплав АМц (1,0...1,6% марганца) и сплавы АМг2, АМг5 (соответственно 1,8...2,6 и 4,8...5,8% магния и 0,2...0,6 и 0,3...0,8% марганца). Эти сплавы хорошо свариваются, устойчивы к коррозии и применяются для слабонагруженных деталей, изготавливаемых холодной штамповкой и глубокой вытяжкой, а также для сварных конструкций. Упрочнение сплавов возможно только путем холодной деформации.

Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термообработкой, имеют в своем составе медь и еще три-четыре и более компонентов. Медь образует с алюминием твердый раствор, а при содержании меди более 0,5 % образуется химическое соединение CuAl_2 . При нагреве такого сплава до 500...540°C частицы CuAl_2 растворяются в алюминии и сплав приобретает однофазную структуру твердого раствора. Быстрое охлаждение сплава (закалка) не дает возможности выделиться фазе CuAl_2 из твердого раствора, что позволяет получить упрочнение сплава.

Дюралюмины – сплавы на основе системы А1-Си-Mg, в которые для повышения коррозионной стойкости дополнительно вводят марганец. Наиболее известны сплав Д18, содержащий 2,2...3,0% меди и 0,2...0,5% магния, и сплав Д16, содержащий 3,8...4,6% меди, 1,2...1,8% магния и 0,3...0,9% марганца.

Дюралюмин хорошо деформируется и в горячем, и в холодном состоянии; для его упрочнения обычно применяют закалку в воде и естественное старение. Наибольшее упрочнение достигается в первые сутки после закали и практически заканчивается в течение пяти суток.

Для защиты листового дюралюмина и других видов проката от коррозии, которая даже при добавке марганца остается значительной, широко применяют его плакирование чистым алюминием. Плакирование проводят совместной горячей прокаткой слитка дюралюмина, обложенного листами (толщиной до 6 мм) чистого алюминия марок А8 и А85.

Сплавы авиаль (АВ и др.) уступают дюралюминам в прочности, но более пластичны как в горячем, так и в холодном состоянии. Они используются для легких конструкций, требующих гибки и других деформаций при монтаже.

Наиболее прочными алюминиевыми сплавами являются сплавы типа В95, содержащие 1,4...2,0% меди, 1,8...2,8% магния, 0,2...0,6% марганца, 5,0...7,0% цинка и 0,1...0,25% хрома. Но, применяя этот сплав, следует иметь в виду, что он еще менее коррозионностоек, чем дюралюмин, и его прочностные характеристики сильно понижаются при температуре выше 150°С.

Известен и ряд других сложных деформируемых сплавов дляковки, штамповки и работы при повышенных температурах: АК4, АК6, АК8, АК4-1.

Литейные алюминиевые сплавы принято маркировать двумя буквами, АЛ (алюминиевый литейный) и делить на пять групп, из которых наибольшей известностью пользуются силумины – сплавы алюминия с кремнием и сплавы алюминия с медью. Типичным силумином является сплав АЛ2, содержащий 10...13% кремния. Он обладает высокой жидкотекучестью, малой усадкой. Кроме того, он устойчив к коррозии и относительно легкоплавок. Удовлетворительные механические свойства и структуру силумин приобретает только после модифицирования.

Немодифицированный силумин имеет грубую игольчатую структуру и очень хрупок.

Модифицирование проводится добавкой в жидкий сплав незначительного количества металлического натрия.

Силумины хорошо свариваются и почти не дают трещин от усадки, но обладают склонностью к образованию окисных пленок и повышенной пористостью, связанной с газопоглощением.

Силумины и большинство других алюминиевых литейных сплавов, как и дюралюмины, очень чувствительны к загрязнению железом; по мере увеличения содержания примесей резко уменьшаются их пластичность и ударная вязкость. Вредное влияние железа можно ослабить введением присадок марганца и хрома.

Расширяется использование и алюминиевых сплавов на основе системы $Al-Al_2O_3$, получаемых методами порошковой металлургии и называемых САП (спеченная алюминиевая пудра). Эти сплавы изготавливают брикетированием алюминиевой пудры, которая состоит из мелких частичек алюминия, покрытых тонкой оксидной пленкой. Если брикеты отжигать в вакууме и спекать под давлением, прочностные характеристики алюминия значительно повышаются. Так, сплав САП1, содержащий 6...9% окиси алюминия, имеет предел прочности $\sigma_B = 300...320$ МПа, а у САП4, содержащего 18...22% окиси алюминия, предел прочности достигает $\sigma_B = 440...460$ МПа при соответствующем снижении относительного удлинения с 7 до 2%. Кроме того, сплавы САП обладают и высокой жаропрочностью при длительном нагреве до 500 °С.

5. Титан и его сплавы

Титан и его свойства. Титан — металл серебристого цвета с голубоватым отливом; обладает невысокой плотностью ($\rho = 4,5$ г/см³); плавится при температуре около 1660°С. Титан имеет две аллотропические модификации: до 882°С существует титан с гексагональной решеткой, а при более высоких температурах – титан с кубической объемно-центрированной решеткой.

Механические свойства титана сильно зависят от содержания в нем примесей. Чистый титан ковкий и имеет невысокую твердость НВ 70; технический титан хрупкий и твердый (НВ 180...280).

Вредными примесями титана являются азот и кислород, резко снижающие его пластичность, а также углерод, который при содержании более 0,15% снижает ковкость титана, затрудняет обработку резанием и резко ухудшает свариваемость. Водород сильно повышает чувствительность титана к концентрации напряжений (например, при надрезе). Этот эффект называют водородной хрупкостью.

На поверхности титана образуется стойкая оксидная пленка, благодаря чему титан обладает высокой сопротивляемостью коррозии в некоторых кислотах, в морской и пресной воде. На воздухе титан не корродирует и мало изменяет свои механические свойства при нагреве до 400°C. При более высокой температуре он начинает поглощать кислород, постепенно ухудшаются его механические свойства, а выше 540°C титан становится хрупким.

За последние десятилетия, после того как удалось промышленным путем получить ковкий титан, он стал широко использоваться как прочный, относительно легкий коррозионностойкий и жаропрочный конструкционный материал в самолетостроении, ракетостроении, при производстве реактивных двигателей. Он получил признание и в судостроении благодаря устойчивости к воздействию морской воды.

Технический титан. Для применения в промышленности технический титан выпускают двух марок: ВТ1-00 и ВТ1-0; в них допускается (соответственно) следующее содержание примесей: углерода 0,05 и 0,07%, кислорода 1,10 и 0,12%, азота до 0,04%, водорода 0,008 и 0,010%, железа до 0,2%, кремния 0,08 и 0,1%. Однако механические свойства у титана марки ВТ1-0 несколько лучше благодаря увеличению суммарного количества перечисленных примесей ($\sigma_{\text{в}}=300...500$ МПа).

Для улучшения механических свойств титан легируют алюминием, который повышает температуру аллотропического превращения титана. Поэтому алюминий часто называют α -стабилизатором титана. Наоборот, элементы, понижающие эту температуру, называют β -стабилизаторами. К ним относятся молибден, ванадий, хром, марганец, железо и некоторые другие металлы.

Титановые сплавы. В промышленности титановые сплавы применяют либо со структурой α -твердого, либо смешанной структурой ($\alpha+\beta$)-твердого раствора.

Алюминий, образуя с титаном твердый раствор, замещая и стабилизируя α -фазу, увеличивает прочность, жаропрочность и сопротивляемость титана окислению при высоких температурах. Поэтому алюминий является наиболее важной составляющей титановых сплавов и всегда входит в их состав.

Для получения сплавов смешанной структуры титан кроме алюминия легируют дополнительно хромом, марганцем, молибденом, оловом, а иногда и другими β -стабилизаторами. Сплавы смешанной структуры ($\alpha+\beta$) обладают почти вдвое большей прочностью, чем чистый титан. Однако повышенная прочность наблюдается лишь при температуре меньше 430°C . Большинство этих сплавов обладают хорошей пластичностью и поэтому легче куются, штампуются и прокатываются, чем однофазные титановые сплавы. Сварка этих сплавов затруднена, так как при сварке они теряют пластичность и швы приобретают хрупкость.

Наиболее технологичным, дешевым и поэтому широко распространенным в этой группе является сплав ВТЗ-1. Он содержит 5,5...7% алюминия, 0,8...2,3% хрома, 2...3% молибдена, 0,15...0,4% кремния. Обладает термической стабильностью, не становится хрупким при длительном нагреве (до 10 000 ч) до температуры 400°C , а при кратковременной работе – до 450°C ; его предел прочности $\sigma_{\text{в}} = 900...1000$ МПа, относительное удлинение $\delta = 10...16\%$.

Сплав ВТ-9 может применяться для изготовления конструкций и деталей, длительно работающих при нагреве до температуры 450°С, а временно – до 700°С. Он содержит 5,8...7,0% алюминия, 3...4% молибдена, 0,8...2,0% хрома, около 0,3% кремния. Предел прочности $\sigma_B = 1050...1200$ МПа, а относительное удлинение около 10%.

Эти сплавы подвергаются штамповке и ковке, из них прокатывают и прессуют прутки и фасонные профили. Из этих сплавов изготавливают лопатки паровых и газовых турбин, выпускные клапаны дизельных двигателей, поршневые пальцы, шатуны и другие детали машин.

Сплавы, содержащие в основном алюминий и поэтому обладающие α -структурой (например, сплав ВТ-5, содержащий 4,3...6,2% Al), хорошо свариваются, устойчивы к коррозии в атмосфере, загрязненной газами, при температуре до 1090°С, сохраняют высокую прочность при нагреве до 650°С. Однако их пластичность хуже, чем у двухфазных сплавов, имеющих α - и β -фазу. Все деформируемые титановые сплавы можно применять и для фасонного литья, но делают это редко, так как титан при нагреве взаимодействует с газами и формовочными материалами.

Сплавы титана со структурой, имеющей одну α -фазу, в промышленности почти не применяются, хотя и обладают отличной пластичностью. Причина этому – их чувствительность к загрязнению атмосферными газами при нагреве, неизбежном в процессе производства.

6. Магний и его сплавы

Магний и его свойства. Магний – серебристо-белый металл. Важнейшее его физическое свойство – малая плотность ($\rho = 1,74$ г/см³ при 20°С).

При хранении магния на сухом воздухе на его поверхности образуется оксидная пленка, предохраняющая металл при небольшом нагреве (до 200°С) от дальнейшего окисления. В этих условиях коррозионная стойкость чистого магния превышает стойкость низкоуглеродистой стали. Однако во влажном воздухе его коррозия значительно усиливается. На магний практически не действуют керосин, бензин и минеральные масла, но

он не стоек в водных растворах солей (кроме фтористых) и растворяется во многих минеральных и органических кислотах.

Магний в виде слитков или изделий не огнеопасен. Возгорание магния может произойти лишь при температуре, близкой к точке его плавления (651°C) или после расплавления, если он не изолирован от кислорода воздуха. Покрытый флюсом, металл можно нагревать и плавить. Порошкообразный магний или тонкая магниевая лента легко загораются от спички и горят ослепительно белым пламенем. Магний немагнитен и не искрит при ударах или трении.

Механические свойства магния сильно зависят от его чистоты и способа изготовления образца (литой, деформированный). При температуре 20°C предел прочности $\sigma_B = 15 \dots 200$ МПа, относительное удлинение $\delta = 8 \dots 11,5\%$, твердость по Бринеллю НВ 30...36.

Магний – один из распространенных металлов в земной коре. В свободном виде он не встречается, но входит в виде карбонатов и силикатов в состав многих горных пород, а также растворен в морской и озерной воде в виде хлоридов и сульфатов.

Технический магний и его сплавы. Технический магний в России выпускают трех марок: Мг96, Мг95, Мг90, где цифра обозначает, что этот металл содержит соответственно 99,96, 99,95 и 99,90% магния.

По соглашению с потребителем чушки магния поставляют покрытыми защитным смазочным материалом, обернутыми бумагой или упакованными в алюминиевые барабаны и стальные бочки, что необходимо при длительном хранении магния, так как он подвержен коррозии при влажных условиях хранения.

Из магниевых сплавов наиболее широко применяются сплавы с алюминием (до 10%), цинком (до 6%) и марганцем (до 2,5%). Эти добавки значительно улучшают свойства магния. Различают литейные магниевые сплавы, маркируемые буквами МЛ, и сплавы, обрабатываемые давлением, маркируемые буквами МА.

Наиболее простым является сплав МЛ2, содержащий 1...2% марганца. Основным достоинством сплава является высокая коррозионная стойкость, но механические свойства у него невысокие.

Сплавы МЛ4 и МЛ5, содержащие по 0,15...0,5% марганца, имеют значительно лучшие механические и технологические свойства и поэтому широко используются в промышленности, хотя и обладают более низкой коррозионной стойкостью.

Сплав МЛ 10 жаропрочный, обладает хорошими литейными свойствами, пригоден для длительной эксплуатации при температуре до 250°C.

Благодаря добавкам марганца от 1,3 до 2,2% сплавы МА1 и МА8 характеризуются высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и коррозионной стойкостью.

Вследствие малой плотности и значительной удельной прочности (относительной к массе) магниевые сплавы широко применяют в транспортном машиностроении, особенно в самолето- и ракетостроении.

7. Антифрикционные (подшипниковые) сплавы

Подшипниковый материал представляет собой сочетание достаточно прочной, относительно пластичной и вязкой основы, в которой имеются твердые опорные включения. При этих условиях изнашивается пластичная основа, вал в основном лежит на твердых опорных включениях и, следовательно, трение идет не по всей поверхности подшипника и смазочный материал удерживается в изнашивающихся местах пластичной основы.

К антифрикционным материалам относятся сплавы на основе олова и свинца (так называемые баббиты), меди, алюминия, цинка, антифрикционные чугуны и порошковые подшипниковые материалы и некоторые пластмассы (с низким коэффициентом трения).

Баббиты. Марки баббитов обозначают буквой Б, справа от которой ставится цифра, показывающая процентное содержание олова, или буква, обозначающая дополнительный легирующий элемент. Например, марки Б83, Б16 означают, что в эти баббиты входит соответственно 83 и 16 %

олова; марка БН означает, что сплав содержит никель, т. е. обозначение носит условный характер, не показывая полностью состав сплава.

Для того чтобы на основе олова можно было получить антифрикционный сплав, в него вводят элементы, которые упрочняют слишком мягкое и непрочное олово, образуя твердые включения. Для этой цели служат добавляемые в сплав сурьма и медь. Сурьма растворяется в олове с образованием твердого раствора, который получает большую твердость и прочность, чем чистое олово, почти при той же пластичности.

Кроме того, сурьма с оловом образуют химическое соединение $SbSn$ с высокой твердостью. Таким образом, сурьма упрочняет основу оловянных антифрикционных сплавов и создает опорные включения высокой твердости в виде химических соединений.

Медь с оловом образуют кристаллы химического соединения Cu_3Sn .

Так как олово дорогой и дефицитный элемент, то оловянные баббиты применяют только в особо ответственных случаях (для вкладышей подшипников сильно нагруженных машин, например турбин, дизелей и др.).

Для подшипников более широкого применения, например в автомобильных и тракторных двигателях, прокатных станах, металлообрабатывающих станках, в баббиты в значительных количествах вводят свинец и понижают содержание олова до 5...17%. В таких сплавах (например, Б16) основой служит свинец.

Для упрочнения свинца и создания твердых частиц в сплав также вводят сурьму и медь.

Вводимый в баббит никель (марка БН) улучшает форму включений и измельчает структуру. Самыми дешевыми являются свинцовые баббиты с кальцием и натрием, которые образуют со свинцом твердые растворы (мягкая основа), а твердыми включениями является химическое соединение.

Свинцовая бронза. Свинцовая бронза БрС30 (27...33% свинца, остальное – медь) применяется для вкладышей подшипников мощных двигателей (авиационных, дизельных и др.).

Сплавы на основе алюминия. Сплавы на основе алюминия, например сплав АН-2,5 (2,7...3,3% никеля) широко применяют для отливки вкладышей и получения прокаткой моно- и биметаллической ленты, используемой для последующей штамповки вкладышей, например для коленчатого вала автомобилей.

Сплавы на основе цинка. Сплавы на основе цинка, например сплав ЦАМ 10-5 (9...12% алюминия, 4...5,5% меди, 0,03...0,06% магния), применяют в подшипниках металлорежущих станков, прессов и др.

8. Тугоплавкие металлы

Тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден, тантал и др.) и их сплавы нашли применение в современной технике вследствие исключительно высокой жаростойкости и достаточно высокой прочности. Физико-механические свойства некоторых тугоплавких и редких металлов приведены в табл. 2.26.

Таблица 2.26

Физико-механические свойства некоторых тугоплавких и редких металлов

Свойства	Металлы				
	Вольфрам	Тантал	Молибден	Ниобий	Бериллий
Температура плавления, °С	3410	2996	2620	2415	1285
Предел жаропрочности, °С	1800	1500	1700	-	-
Предел прочности, Н/мм ²	1100-1500	250-350	800-900	300-400	550-750
Плотность, г/см ³	19,3	16,6	10,2	8,57	1,847
Твёрдость, Н/мм ²	2000-4500	1250	1400	1100	1000-1300
Относительное удлинение, %	1	40	10-15	25-40	1,5-8
Удельная теплопроводность, кал/см · с · град	0,4	0,13	0,346	0,151	0,365

Тугоплавкие металлы, как правило, используют в сплавах в качестве легирующих добавок.

Бериллий. Наиболее легким из этих металлов является бериллий. По удельной прочности он значительно выше титановых и специальных сталей и сплавов, обладает хорошей электро- и теплопроводностью, высокой теплоемкостью; его упругие свойства не изменяются при нагреве до 600°С. К недостаткам бериллия следует отнести его высокую хрупкость, повышенную склонность к окислению и токсичность. Он обладает также повышенной истирающей способностью при резании. Для его обработки применяется в основном твердосплавный инструмент. Режимы резания назначаются такими, чтобы температура в зоне резания не превышала 800°С, иначе начинается интенсивное окисление. Особое внимание следует обращать на технику безопасности при обработке бериллия. Обработка ведется, как правило, всухую, чтобы не загрязнять стружку, которая из-за большой стоимости бериллия должна идти на переработку. По обрабатываемости бериллий можно сравнить с чугуном, но он более хрупок и обладает большей истирающей способностью.

Вольфрам является наиболее тугоплавким металлом. Его характерные особенности – высокая прочность, низкая пластичность и большая плотность. Это один из самых трудных в обработке металлов, вследствие не только высокой прочности и хрупкости, но и истирающих (абразивных) свойств. Из-за хрупкости возможны разрушения тонкостенных деталей при закреплении на станке и сколы на кромках при обработке. Детали из него получают горячим или холодным прессованием, а также литьем с последующим деформированием. Из-за высокой твердости обработку часто производят с предварительным подогревом. Для обработки применяют твердосплавные инструменты с пластинками типа ВК. Скорости резания при черновом точении не превышают 3...10 м/мин, а при чистовом – 30...40 м/мин. Шлифование ведется кругами из зеленого карбида кремния на керамической связке, твер-

достью М2-СМ1 с обильным охлаждением. Вольфрам при этом весьма склонен к образованию трещин.

Молибден, как и вольфрам, обладает большой прочностью, которая сохраняется и при высоких температурах. Для него характерно благоприятное сочетание высокой теплопроводности, низкой теплоемкости и малого коэффициента линейного расширения. Обрабатываемость его удовлетворительная, но осложняется хрупкостью и склонностью к окислению при температурах 400...500°С. Хрупкость связана с содержанием в металле кислорода, азота и углерода. Степень загрязненности указанными примесями зависит от способа получения молибдена и его сплавов – из порошков или электродуговой и электроннолучевой плавкой. Способ получения определяет и структуру строения. Легче обрабатываются и дают более чистую поверхность сплавы с однородным волокнистым строением, когда длина зерна в несколько раз больше поперечного сечения.

При равноосной структуре легко вырываются целые зерна или группы зерен, поверхность получается рваной, с надрывами. Для обработки применяют инструмент из сплавов ВК и ТК или из быстрорежущих сталей. Лучше противостоит усиленному истиранию сплав ВК6М. Шлифование молибдена затруднено.

Ниобий и тантал имеют примерно одинаковый предел прочности, но сильно отличаются по плотности. Оба металла отличаются повышенной пластичностью. Ниобий более устойчив против окисления, чем молибден, но также может насыщаться кислородом, азотом и водородом и снижать при этом свои свойства. Обрабатываемость ниобия и тантала удовлетворительная. Из-за высокой пластичности эти металлы налипают на режущие кромки инструментов и образуют на обрабатываемой поверхности надиры и наволакивания. Этому благоприятствует низкая теплопроводность данных металлов, высокие температуры в зоне контакта и большие силы трения. Качество поверхности ухудшается с увеличением подачи более 0,4 мм. Скорости

резания ограничиваются также из-за того, что уже при температуре 180...200°С наблюдается газонасыщение металла и его легкое окисление.

При обработке деталей из ниобия и тантала и их сплавов чаще, чем при обработке заготовок из других тугоплавких металлов, применяют быстрорежущие сплавы. Можно сказать, что ниобий имеет механические свойства примерно такие же, как и сталь с содержанием углерода 0,15%.

Скорости резания должны быть в 2,5 раза меньше, чем для такой стали, вследствие невысокой теплоемкости и большой адгезионной способности.

Следует отметить, что при обработке рассматриваемых тугоплавких материалов наблюдаются нередко иные закономерности, чем при обработке обычных сталей и сплавов.

9. Твердые сплавы

Твердые сплавы по сравнению с быстрорежущими сталями обладают более высокой твердостью, теплостойкостью, износостойкостью и теплопроводностью и не уступают им по прочности на сжатие (табл. 2.27). Теплостойкость твердых сплавов позволяет обрабатывать конструкционные материалы при более высоких скоростях резания (50...100 м/мин).

Недостатками твердых сплавов являются низкая прочность при изгибе, низкая технологичность, дефицитность и дороговизна сырья для их производства.

Твердые сплавы выпускаются пяти групп: ВК, ТК, ТТК, ОМ, БВ.

Вольфрамовые твердые сплавы (группа ВК). Состав: карбид вольфрама (режущий скелет) и кобальт (связка).

В марках твердых сплавов группы ВК буквы и цифры означают: В – карбид вольфрама, К – кобальт; цифры указывают на содержание в сплаве кобальта в процентах. Так, в сплаве ВК8 содержится 8% кобальта, остальное – карбид вольфрама.

С уменьшением содержания кобальта твердость и теплостойкость сплавов возрастают, а прочность на изгиб снижается.

Таблица 2.27

Основные физико-механические свойства инструментальных материалов

Инструментальный материал	Микротвёрдость, МПа (до)	Твёрдость, HRA	Теплостойкость, °С	Предел прочности, МПа (до)	
				при изгибе	при сжатии
Стали: инструментальные углеродистые;	10000	78...79	200...250	2200	4000
инструментальные легированные;	10000	78...80	250...300	2200	4000
быстрорежущие: нормальной производительности;	15000	79...80	600...630	3100	4100
повышенной производительности.	18000	81...82	625...670	2900	4100
Твёрдые сплавы: группа ВК;	25000	87,3...89	800...850	1400	4800
группа ТК;	30000	88,5...92	850...900	1300	3700
группа ТКК;	20000	до 88,5	700...750	1500	3000
группа ОМ;	30000	–	900...1000	1650	4000
группа ББ.	31000	88...92	1000...1100	1650	4000
Минералокерамика: оксидная;	32000	92...95	1200	450	5000
оксидно-карбидная	31000	до 93	1100	700	4800
Алмаз.	100000	–	800...900	500	2000
СТМ на основе нитрида бора: эльбор – Р;	90000	–	1400...1500	700	–
гексанит – Р.	70000	–	800...900	1300	–

Титано-вольфрамовые твердые сплавы (группа ТК). Состав: карбиды титана и вольфрама (режущий скелет), а кобальт (связка).

В марках твердых сплавов группы ТК буквы и цифры означают: Т – карбид титана, К – кобальт; цифры указывают на содержание в сплаве указанных компонентов в процентах. Так, в сплаве Т15К6 содержится 15% карбида ти-

тана, 6% кобальта, остальное – карбид вольфрама.

В сравнении со сплавами группы ВК сплавы группы ТК имеют более высокую твердость, теплостойкость и износостойкость, но меньшие прочностные характеристики (см. табл. 2.27).

Титано-тантало-вольфрамовые твердые сплавы (группа ТТК). Состав: карбиды титана, тантала, вольфрама (режущий скелет) и кобальт (связка).

В марках твердых сплавов групп ТТК буквы и цифры означают: первая буква Т – карбид титана, вторая Т – карбид тантала. К – кобальт; цифры, следующие за буквами ТТ, указывают на содержание в сплаве карбидов титана и тантала (в сумме) в процентах, цифра, следующая за буквой К – на содержание кобальта в процентах. Так, в сплаве ТТ7К12 содержатся карбидов титана и тантала 7%, кобальта 12%, остальное – карбид вольфрама.

В сравнении со сплавами групп ВК, и ТК сплавы групп ТТК обладают пониженной твердостью, теплостойкостью (750°С) и износостойкостью, но существенно превосходят их по прочности на изгиб (см. табл. 2.27).

Особомелкозернистые твердые сплавы (группа ОМ). Состав: карбид вольфрама (режущий скелет) и кобальт (связка).

В марках твердых сплавов группы ОМ буквы означают: В – карбид вольфрама, К – кобальт, ОМ – особомелкозернистый; цифры указывают на содержание кобальта в процентах. Сплавы группы ОМ сочетают в себе высокую твердость, теплостойкость и износостойкость сплавов группы ТК с повышенной изгибной прочностью сплавов группы ВК (табл. 2.27). Однако их отдельные марки резко отличаются друг от друга по своим свойствам.

Безвольфрамовые твердые сплавы (группа БВ). Все твердые сплавы групп ВК, ТК, ТТК, ОМ содержат более 50% весьма дефицитного и дорогостоящего вольфрама. Безвольфрамовые твердые сплавы получены на основе карбида титана (режущий скелет) и тугоплавкой молибдено-никелевой связки.

В марках безвольфрамовых твердых сплавов буквы означают: Т – карбид титана, М – молибден, Н – никель. Безвольфрамовые сплавы сочетают в себе высокую твердость и теплостойкость сплавов группы ТК с высокой изгибной

прочностью сплавов групп ВК и ТТК (табл. 2.27).

Примерное назначение различных марок всех групп твердых сплавов показано в табл. 2.28.

Таблица 2.28

Примерное назначение твердых сплавов различных марок

Марка сплава	Примерное назначение
ГРУППА ВК: ВК3 ВК6 ВК8	Обработка чугуна и цветных сплавов Чистовая и получистовая при спокойной нагрузке, чистовая и получистовая при прерывистом резании и черновая при спокойной нагрузке черновая при переменной и ударной нагрузках, в том числе при обработке стальных наплавленных поверхностей
ГРУППА ТК: Т5К10 Т15К6 Т30К4	Обработка стали Черновая, в том числе — при переменной и ударной нагрузках получистовая и чистовая с малым сечением срезаемого слоя
ГРУППА ТТК ТТ7К12 ТТ20К9 ТТ10К8	Обработка стали и чугуна с большими сечениями срезаемого слоя, при переменной и ударной нагрузках (взамен сплавов Т5К10 и ВК при стойкости в 1,8...2 раза выше)
ГРУППА ОМ: ВК6 - ОМ	Чистовая обработка стали, в том числе закаленной, жаропрочной, нержавеющей, чугуна высокой твердости, алюминиевых сплавов (взамен сплавов Т30К.4 и ВК3 при стойкости в 1,5...2 раза выше)
ВК10 - ОМ	Черновая и получистовая обработка стали и чугуна (взамен сплавов Т15К6 и ВК6 при стойкости в 1,5...2 раза выше)
ВК15 - ОМ	Черновая обработка стали и чугуна при переменной и ударной нагрузках, в том числе – в особо тяжелых случаях обработки нержавеющей сталей, титановых и никелевых сплавов, наплавленных поверхностей и т. п. (взамен сплавов Т5К10 и ВК8 при стойкости в 1,5...4 раза выше)
ГРУППА БВ: МНТ	Обработка стали: Чистовая и получистовая при спокойной нагрузке (взамен сплавов Т30К4 и Т15К6 при стойкости в 1,5...3 раза выше)
КНТ	Получистовая (взамен сплава Т15К6)
ТНМ	Чистовая при спокойной нагрузке (взамен сплава Т30К4)

10. Сверхтвердые материалы

10.1. Алмазы

Алмаз представляет собой кристаллическую модификацию углерода. Кристаллическая решетка алмаза – кубическая, содержит 18 атомов. Алмаз обладает самой высокой микротвердостью среди всех известных в природе и созданных человеком материалов. Масса алмазов измеряется в каратах (один карат равен 0,2 г). Масса алмазов, встречающихся в природе, колеблется от сотых долей карата до нескольких тысяч карат.

Роль алмазов в современном производстве очень высока. Об этом свидетельствует то, что алмазы, идущие на технические цели, составляют 85...90% всего добываемого алмазного сырья. Но количество добываемых природных алмазов не может удовлетворить потребности промышленности. Эта проблема решена созданием синтетических алмазов, получаемых из графита при сверхвысоких давлениях и температурах.

Однако алмазы как природные, так и синтетические, обладая наивысшей твердостью, имеют и определенные недостатки: низкий предел прочности на изгиб; недостаточную теплостойкость, которая не превышает 800...900°C; химическое сродство с железом, которое при нагреве инструмента до указанной выше температуры в процессе резания заготовок из сталей и чугунов приводит к растворению углерода алмаза в железе. Эти недостатки определяют область применения алмазных инструментов лишь для чистовой обработки деталей и изделий любых высокотвёрдых неметаллических материалов, из цветных металлов и их сплавов, твердых сплавов и других высокотвёрдых металлических материалов, не содержащих железа. Использование алмазов при обработке стальных и чугунных деталей эффективно лишь при чистовой ручной обработке и на технологических операциях чистовой машинной обработки, осуществляя их при низких скоростях резания (например, при хонинговании).

Примерное назначение синтетических алмазов различных марок для лезвийного инструмента показано в табл. 2.29.

Примерное назначение минералокерамики, синтетических алмазов и СТМ различных марок для лезвийного инструмента

Марка материала	Примерное назначение
Карбонад (АСПК), баллас (АСБ), СВ и др.	1. Алмазы синтетические Чистовая обработка цветных металлов и сплавов, твердых сплавов и других высокотвердых металлических материалов, не содержащих железа, любых высокотвердых неметаллов
Композит-01 (эльбор-Р)	2. СТМ Чистовая обработка закаленной стали твердостью до HRC 67, высокотвердого чугуна и других труднообрабатываемых материалов, прецизионная обработка незакаленной стали при спокойной нагрузке
Композит 05	Чистовая и получистовая обработка закаленной стали твердостью до HRC 60 и высокотвердого чугуна при спокойной нагрузке
Композит 10 (гексанит-Р)	Получистовая и чистовая обработка закаленной стали твердостью до HRC 60, высокотвердых чугунов и других труднообрабатываемых материалов при переменной нагрузке
ЦМ-332 ВО-13 ВО-14 ВШ-75 ВОК-60, ВОК-63, ВЗ	3. Минералокерамика 3.1. Оксидная Чистовая и получистовая обработка стали, в том числе – закаленной твердостью до HRC 50...55, чугуна, в том числе – высокой твердости, других металлических сплавов и неметаллов при спокойной нагрузке 3.2. Оксидно-карбидная То же, что оксидная, но и в условиях переменной нагрузки

10.2. Сверхтвердые материалы (СТМ) на основе кубического нитрида бора

Одним из наиболее эффективных направлений совершенствования технологии в современной металлообработке является внедрение и широкое при-

менение инструмента из СТМ на основе кубического нитрида бора – эльбора и гексанита.

Эльбор. Химический состав эльбора: бора – 44%, азота – 56%. Как вещество кубический нитрид бора в природе неизвестен.

Микротвердость эльбора, определяющая его режущую способность, близка к микротвердости алмаза (табл. 2.27). Теплостойкость эльбора 1400...1500°С – наивысшая среди всех режущих материалов для лезвийных инструментов. Эльбор имеет более высокую изгибную прочность чем алмаз и в отличие от алмаза инертен к железу.

Гексанит. Так называется вюрцитоподобный СТМ на основе нитрида бора. Поликристаллы гексанита отличаются высокой микротвердостью и сравнительно высокой теплостойкостью, а также, сильно выраженными пластическими свойствами (табл. 2.27). Основной отличительный признак поликристаллов гексанита – способность работать при ударных нагрузках.

Примерное назначение СТМ различных марок для лезвийного инструмента показано в табл. 2.29. Рекомендуемые режимы резания при обтачивании и растачивании поверхностей резцами из СТМ приведены в табл. 2.30.

Таблица 2.30

Рекомендуемые режимы резания при обтачивании и растачивании поверхностей резцами из СТМ

Тип операции	Обрабатываемый материал	Вид обработки	Скорость, м/мин	Подача, мм/об	Глубина, мм
1	2	3	4	5	6
Точение, растачивание	Стали инструментальные, легированные, малолегированные, закалённые, твёрдость HRC 40...60	Чистовая	60...120	0,05...0,08	0,3...0,6
		Тонкая	80...180	0,005...0,02	0,03...0,05
	Стали быстрорежущие, высокотехнологичные, закалённые, твёр-	Чистовая	60...120	0,04...0,07	0,1...0,4
		Тонкая	80...150	0,005...0,02	0,05...0,1

Окончание таблицы 2.30

1	2	3	4	5	6
	достью HRC 58...70				
	Чугуны серые и высокопрочные, твёрдостью HB 160...270	Чистовая	400...600	0,02... 0,07	0,2...0,6
	Чугуны отбеленные, закалённые, твёрдостью HB 400...600	Чистовая	100...200	0,02... 0,07	0,2...0,6
	Твёрдые сплавы для штампов и пресс-форм (BK15, 20, 25)	Тонкая	8...12	0,005... 0,02	0,05... 0,1

Примечание. Нижние пределы скорости резания, подачи и глубины рекомендуется брать при растачивании.

11. Минералокерамика

Минералокерамика обладает по сравнению с твердыми сплавами более высокими твердостью, теплостойкостью и прочностью на сжатие (табл. 2.27). Высокая теплостойкость минералокерамики обуславливает возможность обработки конструкционных материалов со скоростями резания, значительно превышающими скорости резания, допускаемые твердыми сплавами (100-200 м/мин и выше).

Минералокерамика подразделяется на две группы: минералокерамика оксидная и минералокерамика оксидно-карбидная.

Минералокерамика оксидная. Оксидная минералокерамика изготавливается из технического глинозёма Al_2O_3 . При описанных выше достоинствах, ее недостатком является низкая изгибная прочность (табл. 2.27).

Минералокерамика оксидно-карбидная. В состав оксидо-карбидной минералокерамики входят оксид алюминия и карбид титана. Так, минералокерамика ВОК-60 содержит 60% Al_2O_3 и 40% TiC. Оксидно-карбидная минералокерамика практически сохраняет высокие твердость, теплостойкость и

прочность при сжатии, присущие оксидной минералокерамике, но имеет большую прочность при изгибе (табл. 2.27).

Примерное назначение различных марок минералокерамики показано в табл. 2.29.

12. Металлокерамические материалы

Успехи науки в области порошковой металлургии вызывают непрерывный рост производства изделий из металлокерамики. Метод порошковой металлургии применяют для изготовления деталей из разнообразных порошковых материалов, в том числе и из обычного железа. При изготовлении деталей из порошков удается получить материал, обладающий новыми специфическими свойствами, которых не имеют исходные материалы. Методом порошковой металлургии можно изготавливать изделия из материалов, не образующих между собой сплав (например, из меди с железом, металла с графитом и др.); из тугоплавких соединений металлов; из металлов, резко отличающихся друг от друга по структуре и свойствам. Применение металлокерамических материалов позволяет во многих случаях значительно повысить долговечность деталей машин при одновременном резком повышении производительности труда в результате устранения механической обработки, так как металлокерамические изделия, полученные методом порошковой металлургии, могут иметь 7 класс точности без дополнительной обработки. Опыт внедрения порошковой металлургии в массовое производство свидетельствует о том, что в результате применения металлокерамики удастся высвободить большое количество металлорежущего оборудования.

Технология изготовления металлокерамических изделий состоит из следующих основных операций: изготовление порошка металла; приготовление порошковой смеси заданного состава; прессование; спекание; окончательная обработка.

Исходным материалом для получения железного порошка служит окалина или железная руда. Порошки изготавливают химическим способом восстановления металлов из оксидов и других соединений. Смешивают раз-

ные порошки с добавками в шаровых мельницах или в специальных смесителях. Подготовленную смесь порошков подвергают холодному прессованию под давлением 1000...1200 Н/мм². Прессование производят на механических и гидравлических прессах. В результате получают прессовки (детали) необходимой формы. Для значительного повышения механических свойств прессовку подвергают спеканию. Спекание производят в защитной атмосфере.

Широкое применение находят металлокерамические детали на основе железного порошка. К таким деталям относятся различные подшипниковые втулки, шайбы, валики, ролики и др. Основные механические характеристики подобных деталей приведены в табл. 2.31

Таблица 2.31

Характеристики металлокерамических деталей на основе
железного порошка

Детали	Марка металлокерамического материала	Твердость НВ	$\sigma_{в,}$ Н/мм ²	$\sigma_{в. и,}$ Н/мм ²	Пористость, %
Втулки антифрикционные: малонагруженные нагруженные	ЖГр3	85...90	100	180	17...20
	ЖГр2Д2 5К0,8	100...120	200	—	17...20
Шайбы упорные	ЖГр1 8Д3К0,4	100...120	200	—	17...19
Втулки распорные: малонагруженные нагруженные	ЖГр1	100...120	160	180	13...15
	ЖГр2Д2,5	120...145	270	330	13...15
Ролики	ЖГр2Д2,5	120...150	270	330	11...13

Применение металлокерамических материалов для изготовления подшипников скольжения позволяет сократить расход дефицитных цветных металлов и повысить долговечность в несколько раз. Коэффициент трения у

железо-графитовых подшипников в 1,5...2 раза ниже, чем у некоторых баббитовых.

Для изготовления деталей, работающих при высоких температурах на растяжение и изгиб, применяют керметы – керамикометаллические тугоплавкие композиты. В качестве керамического компонента применяют глинозем и оксид магния. Так, кермет, состоящий из 70% глинозема и 30% хрома, при температуре около 900°С имеет предел прочности при растяжении 150, при изгибе 300 Н/мм².

13. Пластические массы

13.1. Классификация, строение и свойства пластмасс

Синтетические материалы получают синтезом органических веществ. К таким материалам относятся пластмассы, пленки и волокна, резины, клеи, герметики, краски, лаки. Свойства синтетических материалов определяются физико-механическими показателями тех полимеров, из которых они получены. Все полимеры отличаются исключительно большими размерами молекул. Форма молекул полимеров может быть линейной (нитевидной) или сетчатой. Каждая молекула полимера (макромолекула) представляет собой совокупность звеньев какой-то одной определенной структуры, соединенных химическими связями. Часто макромолекулы представляют собой сочетание звеньев двух или трех различных типов структур. Такие полимеры называют совмещенными полимерами или *сополимерами*. Свойства сополимеров по их значениям бывают средними по сравнению со свойствами отдельных полимеров, составляющих данный сополимер. Сильнее выражены свойства того полимера, звеньев которого больше в макромолекулах сополимера.

Среди новых конструкционных материалов видное место принадлежит пластическим массам (пластмассам) и синтетическим смолам. *Пластическими массами* называют неметаллические материалы, получаемые на основе природных и синтетических полимеров.

Пластмассы являются как заменителями дефицитных цветных металлов, так и материалами с особыми свойствами, для которых не всегда может быть найдена замена. Этим объясняется широкое использование пластмасс для изготовления значительной номенклатуры деталей машин. Применение пластмасс повышает качество машин и оборудования за счет снижения их массы, улучшает внешний вид, позволяет экономить цветные и черные металлы. Особенно эффективна замена пластмассами цветных металлов (свинца, меди, цинка, латуни, бронзы) и легированных сталей. Применение, например, 1 тонны эпоксидной смолы в электротехнике дает экономиию более 4 тонн меди.

Исходными материалами для получения пластмасс служат дешевые природные вещества: продукты переработки каменного угля, нефти, природного газа и т. д. На производство пластмасс требуется гораздо меньше капитальных вложений, чем на получение цветных металлов.

Основой пластических масс являются смолы – высокомолекулярные соединения органического происхождения. Смолы в чистом виде используются реже.

Классификация пластмасс. Пластмассы в зависимости от их поведения при нагреве делятся на *терморективные* (реактопласты) и *термопластические* (термопласты).

Реактопласты под действием теплоты и давления (или инициаторов – ускорителей отверждения) переходят в твердое, неплавкое и нерастворимое состояние. Реактопласты не могут быть вторично переработаны.

Термопласты под действием теплоты плавятся и затвердевают при охлаждении. Изделия из термопластов могут неоднократно перерабатываться. Однако повторный нагрев несколько ухудшает физико-механические свойства материала (за счет разложения и загрязнения его).

В зависимости от применяемого наполнителя пластические массы разделяют на *композиционные* и *слоистые*. Композиционные, в свою очередь, делятся на *порошкообразные* и *волокнистые*.

В настоящее время решается задача наиболее полного использования во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства достижений современной химии и, в частности, замены традиционных материалов новыми более экономичными и практичными синтетическими материалами. Предусмотрены увеличение использования нефтяного и газового сырья для производства полимерных материалов, создание требуемых мощностей по переработке пластмасс в изделия для нужд народного хозяйства.

Наиболее крупными потребителями пластмасс являются электротехническая промышленность, радиоэлектроника, общее машиностроение.

Основные свойства пластмасс. Изделия из пластмасс при обычных условиях, как правило, представляют собой твердые и упругие тела.

Ассортимент применяемых в промышленности пластмасс весьма разнообразен. Для подавляющего большинства пластмасс характерны следующие положительные качества:

1) малая плотность полимерных материалов ($1,1 \dots 1,8 \text{ г/см}^3$), что позволяет значительно уменьшить массу машин, конструкцию которых составляют детали из пластмасс;

2) химическая стойкость – пластмассы не подвержены коррозии, даже в агрессивных средах;

3) хорошие электроизоляционные свойства, что позволяет применять пластмассы в качестве диэлектриков, незаменимых в высокочастотных устройствах радиосвязи, телевидения и т. д.;

4) высокая удельная и абсолютная механическая прочность и возможность создания анизотропных материалов;

5) высокая технологичность – трудоемкость изготовления самых сложных деталей из пластмасс незначительна по сравнению с трудоемкостью изготовления деталей из других материалов;

6) наличие неограниченных ресурсов дешевого сырья;

7) низкий коэффициент трения некоторых видов пластмасс, например текстолита, ДСП (древесно-слоистые пластики), капрона, капролона, что

позволяет в ряде случаев успешно заменять ими бронзу и баббит в подшипниковых узлах машин;

8) высокий коэффициент трения в сочетании с износостойкостью фенопластов с асбестовым наполнителем, пресскпозиций на основе каучуков и других видов специальных пластмасс, что позволяет с успехом заменять ими чугун и дорогие сорта дерева в конструкциях транспортных и прочих машин;

9) прозрачность некоторых ненаполненных пластических масс, таких как полиметилметакрилат (органическое стекло), полистирол и др., которые способны пропускать лучи света в широком диапазоне волн, в том числе ультрафиолетовую часть спектра, значительно превосходя в этом отношении силикатные стекла; эти пластмассы широко применяют в оптической промышленности и машиностроении для изготовления прозрачных деталей — водомерных стекол, арматуры масляных и охлаждающих систем, линз смотровых отверстий и т. д.

Одновременно с указанными достоинствами пластмассы обладают следующими недостатками:

1) низкая теплостойкость – основные виды пластмасс могут удовлетворительно работать лишь в сравнительно небольшом интервале температур (от -60 до $+200$ °С); однако для пластмасс на основе кремнийорганических полимеров, фурфурольных композиций и фторопластов верхний предел температур доходит до $300...400$ °С;

2) низкая теплопроводность, которая в $500...600$ раз ниже теплопроводности металлов, что ограничивает применение пластмасс в узлах и деталях машин, где необходим быстрый отвод больших количеств теплоты;

3) низкая твердость (НВ $6...60$);

4) ярко выраженная ползучесть, особенно у термопластов;

5) малая жесткость, так как модуль упругости самых жестких пластмасс (стеклопластиков) на один - два порядка ниже, чем у металлов;

6) старение, обуславливающее ухудшение свойств пластмасс со време-

нем под действием температуры, влажности, света и воды.

Все это необходимо учитывать при конструировании деталей из пластмасс.

Компоненты, входящие в состав пластмасс. В большинстве своем пластмассы состоят из смолы, наполнителя, пластификатора, стабилизатора, красителя и других добавок, улучшающих их технологические и эксплуатационные свойства. В зависимости от требований, предъявляемых различными отраслями техники, свойства полимеров могут быть в значительной степени улучшены и изменены с помощью соответствующих составляющих пластмассы.

Наполнители служат для улучшения физико-механических, диэлектрических, фрикционных или антифрикционных свойств, повышения теплоустойчивости, уменьшения усадки, а также для снижения стоимости пластмасс. Наполнители бывают органические и неорганические. Органическими наполнителями являются древесная мука, хлопковые очесы, целлюлоза, бумага, хлопчатобумажная ткань, древесный шпон. В качестве неорганических наполнителей используют асбест, графит, стекловолокно, стеклоткань, слюду, кварц.

Применяя в качестве наполнителя древесную муку, получают порошкообразные полимерные материалы – пресс-порошки, употребляемые для изготовления несильно нагруженных деталей. Для получения материала с более высокой механической прочностью употребляют волокнистые наполнители (волокна хлопка, асбеста). Еще большую прочность пластмассам придают листовые наполнители, используемые для производства слоистых пластмасс. При применении хлопчатобумажной ткани получают текстолит, стеклоткани – стеклотекстолит, бумаги – гетинакс, асбестовой ткани – асботекстолит. Используя древесный шпон, вырабатывают древесные слоистые пластики. Для изготовления деталей, по прочности не уступающих сталям, в качестве наполнителей применяют стекловолокно, стеклошнуры, стекломаты.

По массе содержание наполнителей в пластмассах составляет от 40 до 70% . Исключение здесь составляют теплоизоляционные материалы, где в качестве наполнителя используют газы, получая газонаполненные полимерные материалы – пенопласты и поропласты.

Пластификаторы увеличивают пластичность и текучесть пластмасс, улучшают их морозостойкость. В качестве пластификаторов применяют дибутилфталат, трикрезилфосфат и др.

В состав пластмасс часто вводят *стабилизаторы* – вещества, предотвращающие разложение полимерных материалов во время их переработки и эксплуатации под воздействием света, влажности, повышенных температур и других факторов. Для стабилизации используют ароматические амины, фенолы, сернистые соединения, газовую сажу.

Красители добавляют для окрашивания пластических масс. Применяют как минеральные красители (мумия, охра, умбра, литопон, крон и т. д.), так и органические (нигрозин, родамин).

Смазочные вещества, в качестве которых используют стеарин, олеиновую кислоту, трансформаторное масло – снижают вязкость композиции и предотвращают прилипание материала к стенкам пресс-формы.

Получение пластмасс. Большое влияние на свойства пластмасс оказывает их основа, т. е. связующее вещество – смола. По характеру получения связующего вещества пластмассы разделяют на конденсационные и полимеризационные.

Конденсационные пластмассы. Основой этих пластмасс являются синтетические смолы, получаемые в результате химической реакции поликонденсации, при которой образование высокомолекулярного вещества (полимера) происходит с выделением побочных продуктов: воды, аммиака, спирта и др. Реакция поликонденсации в зависимости от исходных продуктов может происходить при нагреве или без него, при пониженном, нормальном или повышенном давлении, в присутствии катализатора или без него.

Наиболее распространенными в машиностроении и приборостроении термореактивными конденсационными пластмассами являются фенопласты и аминопласты.

Фенопласты получают из фенолоальдегидных смол, образующихся в результате взаимодействия фенола, крезола, фенолена или резорцина с альдегидами (формалином, фурфуролом, бензоальдегидом) в присутствии кислых или щелочных катализаторов. В зависимости от способа производства смолы этой группы подразделяют на резольные и новолачные.

Резольные смолы — это термореактивные смолы. Их получают, используя щелочные катализаторы. Смолы могут производиться в виде водных эмульсий (до 20% воды), в сухом виде (в кусках желто-коричневой окраски) и в виде спиртовых растворов – лаков. Основной особенностью резольных смол является их способность переходить при нагреве в неплавкое и нерастворимое состояние. В этом состоянии смолы химически инертны, обладают достаточной механической прочностью и высокими диэлектрическими свойствами. Переход смол в неплавкое и нерастворимое состояние, осуществляемый без добавления ускорителей (катализаторов) под действием нагрева и давления, называется бакелизацией.

Новолачные смолы получают с кислыми катализаторами, и даже при длительном нагреве они остаются постоянно плавкими и растворимыми, т. е. являются термопластичными смолами. Если же нагрев новолаков производится с добавлением уротропина (кристаллическое соединение аммиака и формальдегида), то новолаки отвердевают очень быстро. Поэтому они в большом количестве идут на производство быстро отвердевающих пресс-материалов. Кроме того, новолаки применяются в виде спиртовых растворов (например, лак «Идитол»).

Аминопласты, или мочевиноформальдегидные пластмассы, относятся к группе реактопластов. Благодаря красивому внешнему виду и ярким окраскам (смолы бесцветны и светостойки, поэтому их можно окрашивать в различные цвета) из этих смол вырабатывают изделия широкого

потребления. Как материал для изготовления деталей машин и приборов аминопласты находят ограниченное применение по сравнению с фенопластами из-за более низкой водо- и теплостойкости. Мочевиноформальдегидные смолы применяют также для пропитки древесины, которая после этого становится более прочной и водоустойчивой. Сырьем для производства мочевиноформальдегидных смол являются мочевина, тиомочевина, меламин и альдегиды, среди которых наибольшее значение имеют формальдегид и уротропин.

В промышленности находят также применение кремний-органические (полисилоксановые), *эпоксидные смолы* и др.

Полимеризационные пластмассы. Пластмассы на основе полимеризационных смол получают в процессе реакции полимеризации. Реакцией полимеризации называют соединения большого числа однородных молекул низкомолекулярного вещества с образованием макромолекул нового вещества без выделения каких-либо побочных продуктов реакции. К числу наиболее важных полимеризационных пластмасс относятся термопластические материалы – полистирол, поливинилхлорид, поливинилацетат, полиэтилен, политетрафторэтилен (фторопласт), полиметилметакрилат и др.

Полистирол получают полимеризацией стирола при температуре 80°C блочным или эмульсионным методом. В качестве пластификатора применяется дибутилфталат или трикрезил фосфат.

К виниловым пластикам относят полимеры винилхлорида, винилового спирта и другие производные винила.

Х л о р в и н и л – бесцветный газ $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$ – в технике получают из дихлорэтана, опыляемого спиртовым раствором щелочи. Полимеризацией хлорвинила в водоэмульсионной среде получают **п о л и в и н и л х л о р и д**. В качестве эмульгатора применяют желатин или некаль, а в качестве катализатора – перекись бензоила и др.

П о л и в и н и л а ц е т а т получают полимеризацией винилацетата. Основным сырьем для получения винилацетата служат ацетилен и безвод-

ная уксусная кислота. В качестве катализаторов применяют ртутные соли серной, фосфорной и других кислот. Полиэтилен получают полимеризацией этилена.

Среди акриловых полимеризационных пластмасс наибольшее применение имеет *полиметилметакрилат* (органическое стекло). Для получения органического стекла производят полимеризацию метилметакрилата. В качестве катализатора применяют перекись бензоила. В целях улучшения эластичности вводят пластификаторы (дибутил-фталат, трикрезилфосфат и др.), а также добавляют красители. В промышленности метилметакрилат (метиловый эфир метакриловой кислоты) получают сложным органическим синтезом из ацетона или изобутилового спирта.

Фторопласты – высокомолекулярные соединения на основе фтора и хлорпроизводных этилена, которые получают эмульсионной полимеризацией в виде мелкодисперсного порошка белого цвета.

Пластмассы на основе эфиров целлюлозы весьма широко распространены в народном хозяйстве. Основными представителями этой группы пластмасс являются целлулоид и ацетилцеллюлоза. *Целлулоид* – наиболее известная пластмасса – представляет собой твердый раствор нитроцеллючатки в камфоре.

Порошковые и волокнистые пластмассы. Пластмассы, перерабатываемые в изделия методом прессования, принято называть *прессовочными терморезистивными материалами* (пресс-материалами). Номенклатура прессовочных материалов очень обширна. Эти материалы особенно широко применяют для изготовления разнообразных, часто сложных по конфигурации деталей электротехнического назначения, которые в процессе эксплуатации не испытывают значительных механических нагрузок, а также для производства конструкционных деталей. Прессовочные материалы по виду используемых наполнителей делят на две группы: порошковые и волокнистые.

В *порошковых пластмассах* в качестве наполнителя для изделий общего технического назначения используют древесную муку (пресс-порошки К-18-2, К-21-22).

Изделия из пресс-порошков на основе *фенолоформальдегидных смол* стойки к атмосферным воздействиям, выдерживают действие кислот и солей. Фенолоформальдегидные пресс-порошки применяют в общем приборостроении для изготовления деталей радиотехнического назначения и электронной аппаратуры, сложноармированных деталей. Из пресс-порошков делают также корпуса и крышки приборов, детали, работающие при повышенной температуре или в условиях высокой влажности, но сравнительно малонагруженные. Для изготовления деталей с повышенными требованиями по теплостойкости и механической прочности употребляют асбестовую муку (пресс-порошок К-6-Б); для пресс-порошков с повышенной влагостойкостью и повышенными диэлектрическими свойствами – кварцевую муку и молотую слюду (пресс-порошок К-211-3). Графит в качестве наполнителя делает пластмассу электропроводной (графитопласты). *Меламиноформальдегидные смолы* бесцветны, и пресс-порошкам на их основе можно придать любой цвет. Физико-механические свойства их аналогичны фенолоформальдегидным пресс-порошкам.

Пресс-порошки на основе *мочевиноформальдегидных смол* и целлюлозы (аминопласты) употребляют для изделий бытового назначения (посуда, тара) и некоторых деталей общего приборостроения (рукоятки, ручки, кнопки, клавиши, крышки).

Пресс-порошок КМК-9 на *полисилоксановой смоле* отличается сочетанием высокой теплостойкости с хорошими диэлектрическими свойствами.

Волокнистые пластмассы имеют более высокие показатели физико-механических свойств. От сочетания разных связующих с различными волокнами получают пресс-материалы с заданными свойствами.

Волокниты – фенолоформальдегидная смола в сочетании с хлопчатобумажными очесами. Волокниты употребляют для изготовления несложных

деталей общего технического назначения с повышенными требованиями к ударным нагрузкам. Ударопрочность волокнитов выше ударопрочности изделий из пресс-порошков.

Асбоволокниты марок К-65, КФ-3, *фаолит* получают на основе асбестового волокна и фенолоформальдегидной смолы. Такие пресс-материалы идут на изготовление электроизоляционных деталей повышенной прочности, работающих при повышенных температурах.

Фаолит применяют в качестве теплозащитного и кислотоупорного материала. Он вибро- и ударопрочен, более стоек к резким сменам температур и более вязок, чем керамические покрытия. Фаолит выпускают в виде листов различной толщины. При нагреве листы становятся пластичными и легко приобретают форму будущего изделия.

Асбоволокниты КМК-218, К-41-5 на основе кремнийорганических (полисилоксановых) смол отличаются высокой теплостойкостью (200...300°C) и повышенной дугостойкостью. Идут на изготовление электроизоляционных деталей, работающих при высоких температурах. Механическая прочность полисилоксановых асбоволокнитов ниже, чем фенолоформальдегидных, и они менее технологичны.

Асбовинил-асбоволокнит на связующем лаке употребляется как футеровочный материал в химической, целлюлозно-бумажной и коксохимической промышленности. Из асбовинила изготавливают трубы и детали аппаратов, работающих в кислотах.

Стекловолокниты АГ-4С, АГ-4В, ТВФЭ-2, ВТФН, КМС-9 и другие составляют большую группу материалов, в которых стекловолокно сочетается со смолами. В качестве связующего употребляют модифицированные фенолоформальдегидные, меламиноформальдегидные, эпоксидные, полиэфирные, полисилоксановые смолы. Стекловолокниты применяют для изготовления конструкционных изделий и элементов радиотехнических устройств с повышенными требованиями к прочности и теплостойкости (200...350°C).

Стекловолокниты по характеру распределения стекловолокна в пластике делят на стекловолокниты неориентированные и ориентированные, рубленого и непрерывного волокна. Ориентированный непрерывный стекловолокнит, например марки СВМ, используют для изготовления плит, листов, труб и изделий, имеющих форму тел вращения. Крупногабаритные изделия сравнительно простых форм – корпуса лодок, катеров, вагонов, двери, кровлю, ванны, умывальники, корпуса приборов и аппаратов – изготавливают из неориентированного рубленого стекловолокнита без избыточного давления при формовании. Стекловолокниты применяют для изготовления конструктивных изделий, выдерживающих тепловые удары при температуре 5000...7000°С в течение нескольких десятков секунд. Под действием такой высокой температуры поверхностные слои изделия выгорают. Внутренние слои за этот промежуток времени нагреваются лишь до 200...350°С, сохраняя свою структуру и механическую прочность. В этих условиях стекловолокниты имеют преимущества перед жаропрочными сплавами.

Фурфурольно-ацетоновые пластмассы на основе фурфурольно-ацетоновой смолы и различных наполнителей – асбеста (ФАА), графита (ФАГ) и стеклянного волокна (ФАС) – обладают высокой теплостойкостью и хорошими диэлектрическими свойствами; ФАА – предназначается для изготовления тормозных колодок, ФАГ – для химического машиностроения, ФАС – для работы при высоких температурах.

Фенопласты и аминопласты. Фенопласты обладают высокими твердостью, прочностью, химической стойкостью и теплостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами. Фенопласты употребляют для изготовления деталей, не несущих нагрузки: колпачков, пробок, рукояток, кнопок, деталей осветительной арматуры в вагоностроении, станкостроении, автомобильной промышленности.

Кислотостойкий фаолит в сочетании с асбестом и графитом в химической промышленности заменяет свинец, бронзу и другие металлы. Фенолиты и другие подобные материалы применяют для малогабаритных несиловых де-

талей, корпусов, крышек. Из пресс-материалов ФКП изготавливают детали, к которым предъявляют требования повышенной ударопрочности – картеры автомобильных двигателей, щитки приборов, текстильные веретена, мало-нагруженные шестерни, работающие в агрессивных средах, детали поршневых и центробежных насосов, абразивные круги повышенной прочности и др. Пресс-материалы ФАК-4 на основе фенолоформальдегидных смол, модифицированных полиамидами и каучуками, с наполнителем из молотого кварца и других неорганических веществ нашли применение для изготовления деталей автомобильных двигателей, приборов зажигания, различных тонкостенных армированных деталей, работающих при наличии вибрационных и ударных нагрузок, а также в условиях тропического климата.

Детали из аминопластов устойчивы к воздействию слабых кислот, щелочей, керосина, смазочных масел, спирта, ацетона, но разрушаются концентрированными щелочами и кислотами. Аминопласты бесцветны и светостойки, поддаются окрашиванию в любые цвета. Аминопласты применяются для изготовления ненагруженных армированных и неармированных деталей общего технического и декоративного назначения (кнопки, рукоятки управления, корпуса некоторых приборов). Пресс-материал К-77-51 применяют для деталей приборов зажигания; пресс-материал К-78-51 – для деталей шахтного оборудования, деталей приборов зажигания, выключателей двигателей, деталей электрооборудования; пресс-материал ВЭИ-12 – для изделий, которые не отвечают высоким механическим свойствам.

К числу пластмасс данной разновидности можно отнести и такие материалы, как меламин, получаемый на основе меламинаформальдегидной смолы и древесной муки и применяемый при изготовлении деталей машин, соприкасающихся с пищевыми продуктами. Пресс-материал МФК-20 на основе меламинаформальдегидной смолы, модифицированной кремнийорганической смолой, предназначен для изготовления изоляционных дугостойких деталей электроаппаратуры.

Термопластические полимерные материалы. Обладая комплексом очень ценных свойств, термопласты находят широкое применение в технике при изготовлении электро- и радиодеталей, деталей, работающих в химических средах, антифрикционных деталей, уплотнений. Большинство этих материалов непригодно для изготовления изделий, работающих при высоких длительно действующих нагрузках. Такие нагрузки вызывают явления ползучести (хладотекучести). Термопласты выпускают или в виде гранул, порошков, и в этом случае их используют для изготовления деталей методами литья под давлением, экструзии и др., или в виде полуфабрикатов – пленок, листов и профилей различных сечений, используемых для изготовления деталей механической обработкой, штамповкой и сваркой.

Полиэтилен обладает высокой химической стойкостью, в том числе к концентрированным кислотам и щелочам. При обычной температуре не растворяется ни в одном из известных растворителей. При температуре 80°C растворяется в ароматических углеводородах (толуоле, ксилоле и др.). Плотность полиэтилена $\rho = 0,93 \dots 0,97 \text{ г/см}^3$. Полиэтилен стареет (изменяет свои механические свойства) под действием ультрафиолетовых лучей. Для предотвращения старения в него вводят 2...3% газовой сажи в качестве стабилизатора. Полиэтилен отличается малой гигроскопичностью, повышенной морозостойкостью и высокими диэлектрическими свойствами. Для кабельной промышленности выпускают специальный кабельный полиэтилен, пластифицированный полиизобутиленом. Полиэтилен хорошо перерабатывается всеми известными способами: литьем под давлением, экструзией, вакуум-формованием, механической обработкой, сваркой. На металлическую поверхность полиэтилен можно наносить методом огневого или вихревого напыления.

Полиэтилен выпускают двух видов – высокого давления (ВД) и низкого давления (НД), различающихся методом изготовления и физико-механическими свойствами. Полиэтилен ВД имеет температуру плавления 115°C, а полиэтилен НД – 120...135°C. Полиэтилен НД обладает большей

механической прочностью и жесткостью и используется для изготовления труб, шлангов, листов, пленки, деталей высокочастотной радиоаппаратуры, различных емкостей. Литьем изготавливают вентили, краны, золотники, бесшумные зубчатые колеса, работающие при малой нагрузке. Полиэтилен ВД применяют как упаковочный материал в виде пленки или для изготовления небьющейся химической посуды.

Полипропилен относится к той же группе термопластов. Он обладает многими положительными качествами, присущими полиэтилену, и в меньшей степени – его недостатками. Полипропилен имеет меньшую плотность ($\rho = 0,91 \text{ г/см}^3$) и большие жесткость и поверхностную твердость. Из пропилена изготавливают трубы, листы различной толщины, которые легко подвергаются штамповке, сопровождаемой глубокой вытяжкой. Такие изделия используют в качестве корпусов приборов и аппаратов, облицовочного материала, заменителя фарфора и фаянса.

Полистирол представляет собой бесцветный прозрачный материал, обладающий абсолютной влагостойкостью, высокими электроизоляционными свойствами, светостойкостью и твердостью. Полистирол устойчив к плесени, к щелочным и кислым средам, растворяется в бензоле, толуоле, хлороформе, тетрахлориде углерода, эфирах и кетонах. Его диэлектрические свойства мало изменяются при изменении температуры от -80 до $+110$ °С.

К недостаткам полистирола относятся его малая теплостойкость, хрупкость и подверженность старению и растрескиванию. Для предотвращения растрескивания в полистирольные материалы вводят пластификаторы или минеральные наполнители. Перерабатывают полистирол литьем под давлением, экструзией и выдуванием. Изделия из полистирола можно подвергать любым видам механической обработки.

Из полистирола изготавливают детали радиотехнических устройств, лабораторную химическую посуду. Из блочного полистирола экструзией можно получить трубки, стержни и другие профильные изделия, пленки, ленты и нити различной толщины. Полистирольные трубки применяют для изо-

ляции высокочастотных проводов, изготовления деталей радиолокационной аппаратуры, изоляторов, прозрачных деталей и т. д. Этот полимер широко применяют для изготовления бытовых изделий; в технических целях используют сополимеры стирола. Сополимеризация улучшает свойства чистого полимера (механическую прочность, теплостойкость). Применяют сополимеры стирола с метилметакрилатом (марки МСН, МС-2 и МС-3). При сополимеризации стирола с нитрильным каучуком получают материал ПКНД, обладающий большой гибкостью. Из него методами литья под давлением или глубокой вытяжки изготавливают ударостойкие корпуса для машин. Более прочный материал СПН (сополимер стирола с акрилонитрилом, модифицированный нитрильным каучуком) в виде листов и крошки перерабатывают в изделия методом литья под давлением и штамповкой.

Фторопласты выпускают нескольких видов, но наибольшее применение в промышленности получили политетрафторэтилен (фторопласт-4) и политрифтормонохлорэтилен (фторопласт-3). Фторопласт-4 химически абсолютно стоек. На него оказывают действие только расплавы солей щелочных металлов и фтор при высоких температурах. Плотность фторопласта-4 $\rho = 2,2 \text{ г/см}^3$ (самый тяжелый из всех полимеров); коэффициент трения в семь раз ниже коэффициента трения хорошо полированной стали, что определяет его использование в машиностроении для трущихся деталей без применения смазочных веществ, однако при незначительных нагрузках, так как фторопласт-4 обладает хладотекучестью, увеличивающейся с повышением температуры. Фторопласт-4 работает в интервале температур от -250 до $+260^\circ\text{C}$. Фторопласт-4 не переходит в вязкотекучее состояние, поэтому изделия из него получают спеканием порошка, спрессованного по форме детали при температуре $350 \dots 370^\circ\text{C}$.

Фторопласт-3 при нагреве до температуры 210°C размягчается и плавится, что дает возможность перерабатывать его литьем под давлением. Фторопласт-3 может работать в интервале температур от -80 до $+150^\circ\text{C}$; он хи-

мически стоек, но набухает в органических растворителях; более тверд и механически прочен, чем фторопласт-4, не обладает холодной текучестью.

Фторопласты широко применяют для изготовления диэлектриков, уплотнительных деталей (прокладок, набивок), работающих в агрессивных средах, деталей клапанов кислородных приборов, вкладышей подшипников и т. д. Фторопласты также нашли применение для защиты металла от воздействия агрессивных сред. Покрытие производится из суспензий или эмульсий с последующим спеканием.

Полиамиды – твердые термопластические смолы – нашли широкое применение в машино- и приборостроении. В зависимости от химического состава исходного сырья вырабатывают несколько типов полиамидов. Для изготовления пластмассовых деталей обычно применяют полиамид-68, полиамид-66 и капрон. Полиамиды обладают высокими поверхностной твердостью, прочностью на разрыв, прочностью на статический и ударный изгиб. Они устойчивы к действию углеводородов, жиров, масел, разбавленных и концентрированных щелочей, растворимы в фенолах, муравьиной, уксусной и минеральных кислотах, низших спиртах; имеют вполне удовлетворительные диэлектрические свойства, хорошо сопротивляются изнашиванию, в том числе и абразивному, и обладают низким коэффициентом трения. Негорючи, плавятся в узком интервале температур, что обусловлено кристаллической структурой этих веществ.

Полиамиды перерабатывают в изделия литьем под давлением и экструзией. Отдельные элементы изделий можно соединять сваркой или склеиванием. Применяют полиамиды для изготовления волокон, пленок, покрытий, клеев, деталей машин. Полиамидное волокно используется для высокопрочного шинного корда, трансмиссионных лент, канатов, щетины, рыболовецких сетей. Полиамиды хорошо наносятся в виде пленок на различные сорта стали, алюминий и другие металлы. Из полиамидов изготавливают шестерни, подшипники скольжения, рабочие органы центробежных насосов и турбин, уплотнения гидросистем, самостопорящиеся гайки, шкивы ре-

менных передач, гребные винты теплоходов и т. д. Для маслопроводов, бензопроводов и гидравлических систем применяют трубы из полиамидов.

Полиамиды применяют в чистом виде и в смеси с различными наполнителями – графитом, сажей, каолином, стекловолокнистыми материалами. Введение стекловолокнистого наполнителя повышает физико-механические свойства полиамидов. Детали и изделия из стеклонаполненных полиамидов могут эксплуатироваться в более жестких условиях (при больших нагрузках и скоростях и в более широком температурном интервале), чем чистые полиамиды.

Поливинилхлорид представляет собой белый мелкодисперсный порошок. При добавлении в поливинилхлорид до 10% пластификаторов получают один из наиболее распространенных в промышленности материалов – винипласт. При содержании пластификатора до 40% получается эластичный и морозостойкий материал – пластикат. Пластикат выпускают в виде листов, пленок, трубок, лент. Он широко применяется в электротехнической промышленности для изоляции кабелей и проводов, для производства линолеума, масло-, водо- и бензостойких прокладок и уплотнителей. Пластикат подвержен старению, становится хрупким от воздействия солнечных лучей. Светотермостойкий пластикат получается при введении специальных стабилизаторов.

Саран – сополимер винилхлорида с винилиденхлоридом – в виде пленок имеет высокую прочность, низкую паро- и газопроницаемость, лучшую по сравнению с поливинилхлоридом нагревостойкость, устойчивость к действию агрессивных сред и растворителей. Этот материал идет на изготовление методами прессования и литья под давлением различной арматуры: патрубков, тройников, крестовин, фланцев, а также корпусов электрических батарей, аккумуляторов.

Поликарбонаты – новые термопластические материалы, обладающие ценными свойствами: высокой поверхностной твердостью, ударной прочностью и нагревостойкостью. Они влагостойки и стойки в окислительных

средах при повышенных температурах. Поликарбонаты совершенно прозрачны и могут быть использованы вместо силикатного стекла. Поликарбонаты применяют для изготовления зубчатых колес, втулок, клапанов, кулачков и др.

Полиформальдегид – полимер, обладающий высокими жесткостью, твердостью, динамической прочностью, стойкостью к воде, минеральным маслам и бензину, атмосферным воздействиям, действию окислительных сред; постепенно разрушается в растворах кислот и щелочей. Применяется для изготовления антифрикционных деталей, рабочих частей насосов, турбобуров и других гидравлических машин, шестерен, подшипников, деталей, работающих в воде, бензине и масле, деталей текстильных машин и металлорежущих станков, корпусов электроинструментов. Изделия из полиформальдегида формуют литьем под давлением в интервале температур 182...220°C.

Пентопласт — полимер на основе формальдегида, отличающийся химической стойкостью и атмосферостойкостью. По водостойкости пентопласт аналогичен фторопластам, полиэтилену и полистиролу. Из пентопласта изготавливают химически стойкие трубы, клапаны, вентили, сепаратные кольца, подшипники, детали часовых механизмов.

Слоистые пластмассы. Материалы, получаемые соединением наложенных друг на друга нескольких слоев волокнистых наполнителей (ткани, бумаги, древесины и т. п.), пропитанных синтетическими смолами, называются слоистыми. Слоистые пластмассы выпускают либо в виде полуфабриката, представляющего собой листы наполнителя, пропитанные смолой, либо в виде отпрессованных заготовок: листы, плиты различной толщины, трубы различных диаметров, стержни, диски, либо в виде фасонных изделий. Плиты изготавливают, пропитывая наполнитель смолой и раскраивая его на листы, которые складывают друг с другом в пакеты заранее установленной толщины. Пакет прессуют при давлении 8...10 МПа и температуре 140...160°C.

Необходимость предварительно раскраивать листы наполнителя, пропитанного смолой, и собирать пакеты приводит к тому, что из слоистых пластмасс формуют преимущественно заготовки. Поэтому для слоистых пластмасс механическая обработка является одним из основных методов их переработки в изделия. Слоистые пластмассы отличаются анизотропией свойств, особенно это касается механической прочности. Наиболее прочен материал вдоль нитей основы ткани или волокон шпона.

Промышленность выпускает следующие виды слоистых пластмасс: гетинакс, текстолит, асботекстолит, ДСП, стеклотекстолит и др.

Гетинакс – слоистая пластмасса на основе фенолоформальдегидной смолы и листов бумаги. Гетинакс выпускают в виде листов толщиной 0,5...50 мм, стержней диаметром до 25 мм и трубок различных диаметров. Гетинакс применяют главным образом как электроизоляционный материал. Выпускают также декоративный гетинакс для отделочных работ.

Текстолит – слоистая пластмасса, где в качестве наполнителя используется хлопчатобумажная ткань, в качестве связующего – фенолоформальдегидная смола.

Текстолит обладает относительно высокой механической прочностью, малой плотностью и высокими антифрикционными свойствами, стойкостью к вибрационным нагрузкам и хорошими диэлектрическими свойствами. Теплостойкость текстолита 120...125°C. Текстолит нашел широкое применение как заменитель цветных металлов для вкладышей подшипников прокатных станов, как конструкционный и подделочный материал в машиностроении для изготовления направляющих роликов в самолетах, шестерен в автомобилях и др. Текстолитовые шестерни в отличие от металлических работают бесшумно.

Электротехнический текстолит применяют для изготовления электроизоляционных изделий повышенной прочности для работы на воздухе и в трансформаторном масле.

Асботекстолит представляет собой слоистую пластмассу с наполнителем из асбестовой ткани и связующим – фенолоформальдегидной смолой. Он имеет высокую теплостойкость – до 250°C. Асботекстолит применяют преимущественно в качестве теплоизоляционных облицовок для тормозных колодок и дисков сцепления, так как он обладает большим коэффициентом трения.

Древеснослоистый пластик (ДСП) – пропитанный небольшим количеством фенолоформальдегидной смолы, спрессованный древесный шпон. ДСП имеет высокую механическую прочность, пониженную влагостойкость и невысокие диэлектрические показатели.

Дельта-древесина, как и другие виды ДСП, применяется как конструкционный, обшивочный и поделочный материал в машиностроении, как заменитель цветных металлов для изготовления шкивов, вкладышей подшипников, втулок, шестерен, опорных рам.

Стеклотекстолит изготавливают прессованием пакета стеклоткани, пропитанной смолой. Выбор связующего определяется назначением стеклотекстолита и способом изготовления изделия. Диаметр стекловолокна в стеклоткани составляет 3,5...5 мкм. Связующее в стеклотекстолите выполняет роль клея, и его содержание не превышает 25...30%, иначе прочность изделия снижается.

Из пакета пропитанной стеклоткани прессуют листы, плиты, трубы. Стеклотекстолит применяют для изготовления сильно нагруженных конструктивных изделий, работающих в сухих и влажных средах, при температурах до 350°C, стойких к растворам электролитов, маслам и жидким топливам, а также изделий, которые должны обладать высокими диэлектрическими свойствами и радиопрозрачностью. Он нашел также применение для изготовления разнообразных высоконагруженных крупногабаритных изделий (кузовов легковых автомобилей, автобусов, кабин грузовых автомашин, лодок, катеров, авто- и железнодорожных цистерн, емкостей и аппаратуры химической промышленности).

Листовые пластмассы. Винипласт – листовый материал, представляющий собой пластифицированную на горячих вальцах при температуре 160...165°C смесь поливинилхлорида, полученного методом эмульсионной полимеризации, и стабилизатора (углекислые соли свинца). В зависимости от назначения винипласт выпускают трех марок: ВН – непрозрачный, натурального цвета или окрашенный; ВП – прозрачный бесцветный или окрашенный; ВНТ – нетоксичный, используемый в пищевой промышленности.

Винипласт химически устойчив к воздействию почти всех кислот, щелочей и растворов солей любых концентраций, за исключением концентрированной азотной кислоты и олеума. Он имеет хорошие электроизоляционные свойства. Однако рабочая температура винипласта невелика: от 0 до +40°C. Винипласт подвержен хладотекучести; при резких изменениях температуры коробится. Он не горит, но при температуре 120...140°C начинает размягчаться, что позволяет сваривать отдельные листы между собой. В пламени обугливается; температура разложения 160...200°C. Склонен к старению под влиянием атмосферных воздействий и химических реагентов, при этом приобретает повышенную хрупкость и пониженную прочность на разрыв.

Изделия из винипласта изготовляют выдавливанием, штамповкой, гибкой, механической обработкой, сваркой, склеиванием первинилхлоридным клеем. Гибку, штамповку, вытяжку можно проводить при нагреве до 130°C.

Из винипласта изготовляют емкости в химическом машиностроении, баки и сепараторы для кислотных и щелочных аккумуляторов, барабаны, держатели анодов, полиграфические клише, плитки для футеровки электролизных и травильных ванн.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) — прозрачный термопластический материал, обладающий высокой твердостью, стойкостью к атмосферным воздействиям, водостойкостью, стойкостью ко многим мине-

ральным и органическим растворителям, хорошими электроизоляционными и антикоррозионными свойствами. Его выпускают в виде прозрачных листов и блоков.

Органическое стекло растворяется в дихлорэтано. Раствор органического стекла в дихлорэтано используют в качестве клея для органического стекла. Листы из органического стекла надежно сваривают методом контактной сварки при температуре 140...150°С и давлении 0,5...1 МПа.

Органическое стекло применяют для остекления приборов, изготовления линз, прозрачных моделей для наглядного изучения режимов работы различных агрегатов. Особенно широкое применение органическое стекло нашло для остекления самолетов. Для этих целей употребляют *ориентированное* (вытянутое) *органическое стекло* и *триплекс* – два слоя стекла, между которыми находится слой вязкого прозрачного материала (бутварной пленки); детали остекления из этих материалов при пробитии локально разрушаются.

Целлопласты представляют собой термопластические материалы на основе эфиров целлюлозы. В настоящее время промышленность выпускает нитроцеллюлозный, этилцеллюлозный и ацетилцеллюлозный этролы и листовые материалы – целлон и целлулоид.

Целлопласты химически нестойки и растворяются в большинстве органических растворителей. Материалы на основе нитроцеллюлозы (этрол, целлулоид) очень горючи. Целлопласты применяют в машиностроении, главным образом для изготовления декоративных деталей отделки машин и приборов.

Пенопласты. Пенопласты – общее название газонаполненных пластмасс, они отличаются от монолитных полимерных материалов ячеистой структурой. По структуре они делятся на собственно пенопласты, в которых газообразные включения изолированы друг от друга тонкими стенками полимерного материала, и на поропласты (например, поролон) с сообщающимися ячейками. По свойствам они различаются: пенопласты водо- и нагре-

востойки, поропласты обладают высоким звукопоглощением и легко впитывают влагу.

По механическим характеристикам пенопласты можно разделить на три группы.

Пенополистиролы, относящиеся к жестким пенопластам, применяют преимущественно в производстве изделий, к которым предъявляются особенно высокие требования в отношении электроизоляционных качеств и радиопрозрачности (например, для изготовления антенных обтекателей).

Пенополивинилхлориды относятся к полужестким пенопластам. Их применяют в качестве материала, придающего жесткость конструкции, но снижающего его массу, в качестве заменителя пробки в производстве спасательных кругов и поясов, поплавков спасательных шлюпок, в качестве теплоизоляционного материала в строительстве самолетов. В производстве эластичных электроизоляционных материалов применяют полиэтиленовый пенопласт.

Эластичные пенополиэфироуретаны, относящиеся к эластичным пенопластам, обладают высокими прочностью, сопротивлением истиранию, нагревостойкостью. По упругим свойствам пенополиэфироуретан уступает пенорезинам, но превосходит их по масло- и бензостойкости, стойкости к действию озона и имеет большой диапазон рабочей температуры (от -190 до $+120^{\circ}\text{C}$) и значительно большую прочность на разрыв. Эластичный пенополиэфироуретан нашел широкое применение в амортизирующих средствах как заменитель металлических пружин, а также в качестве хладостойкого теплоизолятора в производстве теплой одежды.

Пенопласты хорошо обрабатываются как ручным, так и механическим способом на деревообрабатывающем оборудовании. Они соединяются между собой и с другими материалами преимущественно склеиванием. Листовые пенопласты на основе термопластических полимеров могут подвергаться при нагреве штамповке и гибке.

13.2. Покрытия из пластмасс

В последние годы успешно применяется нанесение на металл покрытий из термопластических материалов методами напыления (газопламенным и вихревым) или в виде суспензий.

Газопламенное напыление осуществляется пистолетообразным аппаратом, в который из питательного бачка подсасывается порошок смолы; чтобы порошок не слипался, бачок снабжают вибратором. Под действием воздушно-ацетиленового пламени на выходе из щелевидного сопла пистолета порошок плавится и распыляется сжатым воздухом по поверхности детали. После расплавления полимер хорошо растекается по поверхности детали. Для улучшения прилипания полимера поверхность металла подвергают песко- или дробеструйной обработке и нагревают пламенем пистолета (при нанесении, например, полиэтилена – до температуры 200°C).

Газопламенным напылением получают покрытия из полиэтилена, полиамидов (капролактама, нейлона), поливинилбутираля, битумов, шеллака и др. Для получения окрашенных покрытий порошок смолы смешивают с пигментами. Для этой цели употребляют пигменты, сохраняющие цвет в процессе напыления: синий монстраль, сажу, желтый и красный кадмий, хромовую зелень, ультрамарин.

Полиэтиленовые покрытия, полученные газопламенным напылением, используют для защиты металлов от коррозии и воздействия агрессивных сред. Полиамидные покрытия обладают хорошей адгезией к металлу и отличаются высокими упругостью, бензо- и маслостойкостью.

Покрытия, получаемые газопламенным напылением из порошка поливинилбутираля, имеют хорошую адгезию к металлу, достаточно водостойки, не разрушаются от действия органических кислот, алифатических углеводородных растворителей и масел. Поливинилбутиралевые покрытия хорошо шлифуются и полируются.

Покрытия эпоксидными смолами, в частности смолой Э-41 с добавкой в качестве отвердителя полиэтиленполиамина, отличаются блеском, хоро-

шей теплостойкостью, химической стойкостью и электроизоляционными свойствами.

Вихревое напыление, или напыление в псевдокипящем слое, используют для получения антикоррозионных, электроизоляционных и декоративных покрытий. В качестве покрытий используют порошки полиэтилена, полиамидов и поливинилбутираля. Для придания покрытию цвета в порошок полимера добавляют пигменты: двуокись титана, двуокись хрома, желтый или красный кадмий, двуокись марганца. Перед приготовлением смеси для напыления порошки полимера и пигмента высушивают. Затем порошок просеивают (до зернистости менее 200 мкм). Взятые в необходимой пропорции порошки полимера и пигмента перемешивают до получения однородного цвета. Перед началом работы в ванну для напыления насыпают смесь порошков из расчета, что при взвихрении высота слоя порошка увеличивается в 1,5...2 раза. Воздух для взвихрения порошка предварительно пропускается через влагомаслоотделитель и сухой чистый калорифер, нагретый до 50...60°C.

Взвихрение порошка достигается действием сжатого воздуха, который продувается через пористую перегородку, расположенную в нижней части ванны. Подача воздуха в ванну регулируется таким образом, чтобы поверхность взвихренного слоя порошка напоминала кипящую жидкость: без выбросов и фонтанирования. Покрываемые детали для улучшения сцепления покрытия с металлом предварительно подвергают дробеструйной обработке. Подготовленные для покрытия детали нагревают в печи до температуры, превышающей температуру размягчения полимера, и затем на несколько секунд полностью погружают в ванну с порошком, находящимся во взвихренном состоянии. Время нахождения детали в ванне определяется необходимой толщиной покрытия. Напыленные детали с частично оплавленным порошком выгружают из ванны и слегка встряхивают, чтобы освободить их от излишков порошка. Слой полимера получается равно-

мерным и частично оплавленным. Для окончательного оплавления детали помещают в печь.

Для *суспензионного покрытия* используют фторопласты. Суспензию получают измельчением полимера на коллоидной мельнице в среде разбавителя (чаще всего воды или спирта) с добавкой стабилизирующего вещества. Нанесение суспензий на поверхность деталей производят погружением, распылением или с помощью кисти. Для удаления разбавителя нанесенный слой сушат. Затем деталь нагревают до температуры 260...275°С для расплавления полимера и образования пленки. После оплавления для уменьшения кристалличности полимера и приобретения им эластичности иногда проводят закалку – быстрое охлаждение покрытия водой. Для получения покрытия толщиной 80...120 мкм один за другим наносят до 10 слоев.

Покрытия не набухают в воде, не смачиваются водой, стойки к действию неорганических веществ (за исключением расплавленных щелочных металлов и щелочей), слегка набухают в концентрированной азотной кислоте и олеуме. Фторопластовые покрытия используют для защиты металла от действия агрессивных сред, а также в качестве электроизоляционных покрытий.

Напыление стеклопластиков производят одновременным нанесением на поверхность металла рубленого стекловолокна и полиэфирного связующего. Отверждение покрытий производят при комнатной температуре. Напыление производят пистолетообразным аппаратом с помощью сжатого воздуха. Покрытия из стеклопластиков обладают хорошими прочностными свойствами и износостойкостью.

13.3. Изготовление деталей из пластмасс

Наиболее распространенный метод изготовления деталей из терморезистивных пластических масс – *прессование*. Изготовление изделий из терморезистивных пресс-материалов производится в стальных пресс-формах на прессах. В большинстве случаев применяют гидравлические прессы, так как

они обеспечивают постоянное давление на заготовку в течение всего процесса и, кроме того, они проще и надежнее в эксплуатации.

Технологический процесс прессования деталей из пресс-материалов связан с физическими и химическими изменениями материала. Основными параметрами режима прессования являются давление, температура и время выдержки при нагревании под давлением.

Давление прессования определяет полное и своевременное заполнение пресс-форм, и, следовательно, нужно устанавливать такое оптимальное давление, которого достаточно для формирования детали, обеспечения нужной скорости замыкания пресс-формы. Слишком высокое давление прессования ухудшает качество деталей и ведет к более интенсивному изнашиванию пресс-формы. При недостаточном давлении изделие может получиться пористым, с толстым облоем. В зависимости от состава пресс-материала и конфигурации прессуемого изделия давление прессования обычно составляет 20...70 МПа.

Температура прессования играет большую роль в технологическом процессе изготовления деталей. В первый момент прессования (при замыкании пресс-формы) материал, нагреваясь от стенок пресс-формы, становится пластичным (благодаря расплавлению связующего – смолы) и приобретает способность заполнять оформляющую полость пресс-формы под действием давления. В дальнейшем под действием нагрева в период технологической выдержки материал затвердевает благодаря переходу смолы в неплавкое и нерастворимое состояние. Температура нагрева зависит от вида пресс-материала. При прессовании фенопластов $t = 150...180^{\circ}\text{C}$, при прессовании аминопластов $t = 130...145^{\circ}\text{C}$.

Выдержкой при прессовании считается отрезок времени начиная от момента замыкания пресс-формы до момента снятия давления при подъеме пресса для извлечения готового изделия. Выдержка при прессовании необходима для перевода материала в неплавкое и нерастворимое состояние. Выдержка зависит от толщины стенок изделия и для различных

пресс-материалов находится в пределах 0,5 – 2,5 мин на 1 мм толщины стенок изделия. Суммарную выдержку определяют по наибольшей толщине стенок.

Прессовочный материал подвергают таблетированию, чтобы придать ему определенную конфигурацию и компактность.

Для ускорения технологического процесса прессования деталей и улучшения их качества рекомендуется применять предварительный подогрев материала непосредственно перед загрузкой его в пресс-форму.

Различают *прямое прессование* и *литьевое прессование*. Пресс-форма является инструментом, в котором происходит формообразование изделия. Поверхности формующих деталей пресс-форм (матрицы, пуансона, вкладышей, знаков и т. п.) хромируют (толщина покрытия 5...20 мкм) и полируют до зеркального блеска. Это гарантирует прилипание пресс-материала к стенкам пресс-форм и получение деталей с хорошим внешним видом и удовлетворительными электроизоляционными свойствами.

Важным фактором улучшения качества и снижения брака деталей является автоматическое регулирование температуры пресс-форм.

Для изготовления изделий из листовых термопластов (органического стекла, винилпласта, целлулоида и др.) применяется *штамповка*. Этот метод основан на способности термопластов переходить в высокоэластичное состояние при нагреве и затвердевать при охлаждении. Нагретый лист формуют в штампе или специальном приспособлении. Не снимая внешнего усилия изделие охлаждают, фиксируя приданную ранее форму.

Изделия открытого типа – тарелки, кюветы, корпуса приборов и машин и т. д. – изготавливают с помощью разнообразных формовочных машин и прессов.

Распространенным методом получения деталей из пластмасс является *литье под давлением*. Его осуществляют в специальных литьевых машинах в стадии вязкотекучего состояния пластмассы. Литье под давлением преимущественно применяют для изготовления изделий из термопластов.

Так, при сравнительно низких температурах переходят в вязкотекучее состояние полистирол и его сополимеры, полиэтилен, капрон и другие полиамиды, пластифицированный поливинилхлорид и т. п. Литье под давлением, хотя и ограниченно, применяют также при переработке реактопластов. Некоторые технологические параметры изготовления деталей из пластмасс методом литья под давлением приведены в табл. 2.32.

Таблица 2.32

Технологические параметры изготовления деталей из пластмасс методом литья под давлением

Пластмассы	Температура нагрева материала, °С	Выдержка при охлаждении, мин	Усадка при литье, %
Полиамиды:			
68	240...260	10...15	1,2...1,4
54	180...200	1...1,5	1...1,2
548	170...180	–	–
АК-7	255...265	20...30	–
Капрон	180...200	1...1,5	1...1,5
Полиуретан ПЧ-1	180...185	1,5	1...1,2
Полистирол	185...230	3...8	–
Полиакрилат	170...190	0,5...2	–
Полиэтилен	150...180	3...8	–
Полиформальдегид	200...225	–	1...3,5
Поликарбонат	280...302	–	0,6...0,7

Методом *экструзионного формования* – непрерывным выдавливанием термопластических материалов – изготавливают пленки, листы, трубы и различные профили. Процесс осуществляется на специальных прессах — экструдерах.

Области преимущественного применения различных видов конструкционных пластмасс указаны в табл. 2.33. В табл. 2.34 приведены характеристики высокопрочных стеклопластиков.

Таблица 2.33

Области применения конструкционных пластмасс

Вид пластмасс	Область применения
Порошкообразные, волокнистые и слоистые фенопласты	Корпуса, крышки, шкивы, зубчатые колеса, подшипники, вкладыши, фланцы
Поливинилхлорид, полиофелин	Втулки, тройники, фланцы, трубопроводы, футеровка
Полиамидные смолы	Узлы и детали антифрикционного назначения, подшипники, вкладыши, шестерни
Стеклопластики	Кабины, корпуса, бункера, панели и др.
Полиформальдегид, поликарбонат, пентапласт	Детали с высокой механической прочностью, химической стойкостью, низким коэффициентом трения, со стабильными размерами

Таблица 2.34

Характеристики высокопрочных стеклопластиков

Материал	Прочность, Н/мм ²	Удельная вязкость, кДж/м ²	Плотность, г/см ³
Анизотропный стеклопласт СВМ	900...950	290...310	1,9
Стеклотекстолит	250...300	100...150	1,65
Текстолит	85...100	36	1,35
Полиэтилен	10...24	16	0,9
Полистирол	35...40	14	1,1
Сталь Ст3	380...470	800	7,85

14. Композиционные материалы

Строение и классификация композиционных материалов. Традиционные металлические сплавы в известной мере достигли своего предела конструктивной прочности, а развитие техники ставит задачу дальнейшего повышения прочности материалов, их жаростойкости, способности работать в агрессивных средах при сокращении массы изделий. Этим требованиям в полной мере могут отвечать композиционные материалы.

Композиционными материалами называют материалы, состоящие из нескольких компонентов, отличающихся друг от друга по свойствам, вза-

имно нерастворимые и обычно химически не взаимодействующие друг с другом. Композиционные материалы позволяют не только создавать элементы конструкций с высокими эксплуатационными свойствами, но и создавать принципиально новые изделия, недоступные при применении традиционных материалов.

Композиционные материалы состоят из сравнительно пластичного компонента – матрицы (основы) – и более прочных и твердых веществ, являющихся упрочняющими армирующими компонентами. Матрица связывает композицию в одно целое и определяет форму изделия. В зависимости от материала матрицы различают композиционные материалы с металлической, полимерной и керамической матрицей, их называют соответственно металлическими, полимерными или керамическими композиционными материалами. По типу упрочняющих компонентов композиционные материалы подразделяют на дисперсно-упрочненные, волокнистые, слоистые и трехмерные.

В состав дисперсионно-упрочненных композиционных материалов входят мельчайшие равномерно распределенные частицы карбидов, оксидов, нитридов, не взаимодействующие и не растворяющиеся в матрице в твердом состоянии. Матрица в данном случае является основным несущим элементом. Упрочняющий эффект достигается тормозящим действием частиц в движении дислокаций, рекристаллизационных процессах.

Все остальные композиционные материалы содержат упрочняющие элементы в виде волокон, нитей, проволоки, сеток, лент, войлока и т. п. Прочность таких композиционных материалов определяется прочностью армирующих волокон, воспринимающих основную нагрузку. Матрица же обеспечивает материалу требуемую форму и является передающей средой от источников внешних нагрузок к волокнам.

Конструкционные композиционные материалы и их применение. Дисперсионно-упрочненные металлические композиционные материалы имеют свойства существенно лучшие по сравнению с матрицей.

На алюминиевой основе широко используют материалы типа САП (спекенная алюминиевая пудра). Армирующим компонентом являются частички Al_2O_3 , образующиеся при размолу алюминия. Содержание оксида алюминия составляет 6...23%, при этом предел прочности композита достигает 280...420 МПа. Кроме прочности САП обладает повышенной жаропрочностью. Так, при 400°С прочность САП в пять раз выше, чем у алюминиевых сплавов.

Детали получают спеканием отформованных полуфабрикатов, при этом САП допускает последующее пластическое деформирование. Применяют в авиационной технике, для лопаток компрессоров, элементов теплообменников, лопастей вентиляторов и др. Кроме композиционных материалов на основе алюминия для деталей, работающих при высоких температурах, используют дисперсионно-упрочненные композиционные материалы с матрицей из коррозионно-стойкой стали, молибдена, никеля и его сплавов. Из таких материалов изготавливают лопатки газовых турбин, камеры сгорания, теплозащитные панели.

Волокнистые металлические композиционные материалы нашли широкое применение при использовании в качестве матрицы алюминия, так как он при малой плотности в первую очередь определяет достоинства композиционного материала по удельной прочности. Композиционный материал КАС, изготавливаемый из алюминиевой фольги и стальной аустенитной проволоки, является наиболее дешевым. При плотности 4,8 т/м³ имеет предел прочности 1600 МПа и ударную вязкость 0,4...0,6 МДж/м². Прочность армированного алюминия возрастает в 10...15 раз.

Композиционный материал ВКА имеет матрицу из фольги алюминия или его сплавов и содержит волокна бора с барьерным покрытием карбидом кремния. Объемная доля волокон достигает 50%, а предел прочности – 1200 МПа при плотности 2,65 т/м³. Широко применяется в авиации для стабилизаторов, рулей, обшивки крыльев и др.

Композиционный материал ВКУ на алюминиевой основе, армированный углеродными волокнами, кроме высокой прочности имеет более высокую жаропрочность и может использоваться в газотурбинных установках.

Кроме того, производство поршней двигателей из алюминиевых литейных сплавов с армированием днища поршня керамическими волокнами и волокнами карбида кремния существенно повышает ресурс и основные характеристики двигателей. В качестве антифрикционных вкладышей шатунов используют ленту из алюминиевых сплавов, армированную графитовыми волокнами.

Керамические композиционные материалы получают распространение во многих областях техники, например в металлообработке в качестве элементов режущего инструмента. Использование керамики при обработке резанием ограничено ее хрупкостью и опасностью разрушения от возникающих напряжений вследствие высокого градиента температуры. Разработанные композиционные керамические режущие материалы (керметы) существенно снижают недостатки керамики. Керметы кроме керамической матрицы (Al_2O_3) содержат порошковые металлы.

Керамические композиционные материалы могут успешно применяться в качестве износостойких насадок гидромониторных долот, горловин насосов пескоструйных аппаратов, газодинамических подшипников и др.

Полимерные композиционные материалы в настоящее время широко применяются. Большинство пластмасс для изготовления деталей машин и приборов по своей сути является композиционными материалами, так как почти всегда пластмассы содержат наполнитель. Наполнители не только позволяют снизить объем полимеров, но и существенно улучшить прочностные и эксплуатационные свойства изделий.

Наибольший эффект повышения прочности и модуля упругости достигается при использовании наполнителей, состоящих из стекловолокна (стеклопластики), волокон бора (боропластики) и углеродных волокон (углепластики или карбоволокниты). Волокна могут быть непрерывными од-

нонаправленными и короткими неориентированными. В последнем случае эффект упрочнения меньше, но анизотропия свойств менее выражена.

Карбоволокниты на эпоксифенольной матрице, содержащие армирующие углеродные жгуты и ленты, имеют предел прочности до 1000 МПа. Некоторые карбоволокниты способны работать при температуре до 300°C.

Бороволокниты имеют такую же работоспособность на растяжение, как и карбоволокниты, но значительно превосходят их по сопротивлению сжатию, срезу и сдвигу.

Стекловолокниты и стеклопластики являются наиболее распространенными полимерными композиционными материалами вследствие невысокой стоимости стекловолокна. Содержание стекловолокна достигает 80%, при этом предел прочности составляет 700 МПа. Уменьшение диаметра волокон, дополнительное введение в матрицу монокристаллов оксида алюминия повышают предел прочности стекловолоконитов до 2000...2400 МПа.

Стеклопластики кроме высокой удельной прочности обладают высокой технологичностью, что позволяет применять их в авиационной промышленности, маломерном судостроении, автомобилестроении, электротехнической промышленности и других областях техники.

15. Резина и резинотехнические изделия

Компоненты, входящие в резиновую смесь. Каучук, соединяясь в процессе вулканизации с вулканизирующим веществом, образует *резину*. В качестве вулканизирующего вещества обычно применяют серу.

Для повышения механической прочности и износостойкости в состав резиновой смеси обычно вводят упрочняющий *наполнитель*. К числу таких наполнителей принадлежат вещества с предельно малыми размерами частиц и высокоразвитой поверхностью. Наиболее распространенным упрочняющим наполнителем является сажа. В производстве светлоокрашенных резин и резин, предназначенных для работы при повышенных температу-

рах, в качестве упрочняющего наполнителя применяют окись кремния, окись титана, которые находятся в мелкодисперсном состоянии.

В резиновую смесь вводят *ускорители вулканизации*, применяя для этого дифенилгуанидин и др. Иногда для повышения пластичности резиновой смеси и морозостойкости готовых изделий в резиновую смесь добавляют пластификаторы (стеариновая и олеиновая кислоты, парафины и др.).

Против старения – окисления резины кислородом воздуха – в резиновую смесь вводят *противоокислители* (противостарители), а для придания цвета добавляют *красители* (охра, ультрамарин).

Технология изготовления резины. Вулканизация. Процесс изготовления резины и резиновых деталей состоит из приготовления сырой резиновой смеси, получения из нее полуфабрикатов или деталей и их вулканизации.

Этот процесс включает в себя следующие операции: вальцевание, каландрирование, получение заготовок, формование и вулканизацию, обработку готовых деталей.

Для приготовления сырой резины каучук нарезают на куски и пропускают через вальцы для придания пластичности. Затем в специальных смесителях каучук смешивают с порошкообразными компонентами, входящими в состав резины (вулканизирующие вещества, наполнители, ускорители вулканизации и т. д.), вводя их в резиновую смесь дозированно. Перемешивание можно производить и на вальцах. Таким образом получают однородную, пластичную и малоупругую массу – сырую резину. Она легко формуется, растворяется в органических растворителях и при нагревании становится клейкой.

Провальцованная сырая резина поступает на каландр, где получают листы заданной толщины. Из каландрованных листов заготовки деталей получают вырезкой по шаблонам, вырубкой штанцевыми ножами, формованием на шприц-машине.

Для изготовления резиновых деталей формовым способом используют гидравлические вулканизационные прессы с электрообогревом. Прессова-

ние производят в пресс-формах. Литье под давлением применяют для изготовления деталей сложной конфигурации.

Для получения высокоэластичных прочных изделий (покрышек, трансмиссионных лент, ремней, рукавов) резиновую смесь наносят на высокопрочные ткани (корд) из хлопчатобумажного, полиамидного или полиэфирного волокна. Для сцепления резины с тканью применяют способы напрессовки или пропитывания. В первом случае тонкие листы каландрованной резины напрессовывают на ткань. Во втором случае ткань пропитывают раствором резиновой смеси (резиновым клеем) и сушат для удаления растворителя. Прорезиненную ткань раскраивают, собирают в пакеты и прессуют в изделия.

Многие резиновые изделия армируют металлическими деталями. Металлические детали (за исключением латунных) не обладают адгезией к резине, поэтому легко вырываются из изделия. Чтобы увеличить адгезию металлической арматуры к резине, на металл наносят клеевую пленку или осуществляют латунирование. Наиболее высокая прочность сцепления металла с резиной достигается нанесением на металлическую поверхность пленки клея «лейконат».

Любой процесс формования заканчивается процессом *вулканизации*. Каучук состоит из линейных молекул. При нагреве с серой (вулканизации) происходят укрупнение молекул и образование сетчатой структуры молекул, при этом каучук превращается в резину. В резине кроме линейных есть двух- и трехмерные молекулы. Усложнение и укрупнение молекул приводят к тому, что вещество приобретает упругость без снижения эластичности, а кроме того, и стойкость к термическим и химическим воздействиям. При этом добавление сажи в резину делает строение вещества кристаллическим, увеличивает его прочность.

Длительность и температура вулканизации определяются рецептурой резиновой смеси (типом каучука и эффективностью введенного ускорителя). Обычно вулканизацию проводят при температуре 120...150°C.

При формовании деталей их вулканизация производится в пресс-формах на вулканизационных гидравлических прессах с паровым или электрическим обогревом. Формовой метод вулканизации дает более плотную однородную структуру, более точные размеры и более гладкую поверхность резинового изделия.

Почти все синтетические каучуки получают методом эмульсионной полимеризации в водных средах. Размеры образующихся в этих условиях частиц полимера получают близкими к размерам коллоидных частиц. В присутствии специально вводимых веществ (эмульгаторов) частицы полимеров образуют устойчивую эмульсию полимера в воде, которая называется *латексом*.

В настоящее время выпускается большое количество латексов, из которых можно непосредственно изготавливать резиновые изделия. Латексы применяют для получения фрикционных изделий, пропитки корда, изготовления шлифовальных кругов, резиновых нитей, волосяных эластичных подушек, толстостенных изделий, замены клеев латексными пастами, получения резиновых пеноматериалов. Для получения резиновых изделий толщиной не более 0,2 мм форму (обычно стеклянную) несколько раз погружают в латекс. После каждого погружения на форме остается слой латекса, из которого высушиванием удаляют воду.

Процесс изготовления изделий из латексов состоит из следующих операций: смешивания латекса с вулканизирующими реагентами и другими компонентами резиновой смеси; высаживания резины на форму в виде пленки по мере испарения воды; вулканизации.

Вулканизированные резиновые детали в зависимости от предъявляемых к ним требований подвергают дополнительной обработке. В большинстве случаев достаточно удаления облоя (заусенцев), что можно выполнять небольшими ножницами с загнутыми концами. При наличии в деталях сквозных отверстий применяют вырубные ножи. Для окончательного удаления следов облоя проводят шлифование. В некоторых случаях для получения

точных размеров требуются обтачивание и шлифование всей поверхности детали. Эти операции проводят в токарном патроне с помощью абразивных или фетровых кругов.

Свойства резины. Основные виды резины и их назначение. Современная техника не может обходиться без резины. Из резины делают покрышки и шины колес, изоляцию проводов, водолазные костюмы, баллоны аэростатов, обувь, шланги и многое другое. Применение резины в машиностроении обусловливается ее ценными свойствами. Резина обладает высокой упругостью и способностью поглощать вибрации, хорошим сопротивлением истиранию и многократному изгибу, газо- и водонепроницаемостью, хорошими диэлектрическими свойствами. Резина в готовом изделии находится в термостабильном состоянии, она нерастворима (хотя обладает способностью набухать) в растворителях и непластична. Невулканизированная резиновая смесь обладает хорошей пластичностью, обеспечивающей формообразование всевозможных изделий.

Свойства вулканизированных резин в значительной степени определяются характеристикой каучуков.

В резине не все линейные молекулы скреплены в трехмерные, поэтому она не теряет полностью эластичности, присущей каучуку. Если содержание серы в резине довести до 30...35% , то атомы серы скрепят все нитевидные молекулы каучука в трехмерные. При этом молекулы каучука становятся крупнее, эластичность уменьшается, твердость увеличивается, образуется материал – *эбонит*. Эбонит легко подвергается механической обработке. Он инертен, водостоек и широко используется в автотракторной, химической, электро- и радиотехнической промышленности как диэлектрик.

Если соединение молекул каучука производить не через атомы серы, а непосредственно – углерод с углеродом (такая реакция соединения молекул каучука происходит при температуре выше 300°C), получается твердое вещество – *эскапон*, обладающее исключительными электроизоляционными свойствами. Эскапон – прозрачная, стеклообразная масса, хорошо обраба-

тывается и полируется. Он обладает высокой химической стойкостью, выдерживает нагрев до 400...500°C; востребован как высокочастотный диэлектрик в радиолокации и радиотехнике.

На способности каучука адсорбировать газы и его газопроницаемости основано производство *пористых резин* (губок). В качестве порообразователя в резиновые смеси вводят карбонат натрия в количестве 10...15%. Пористая резина применяется для амортизаторов в качестве теплоизоляции, звукоизоляции и как материал для фильтров в автомобильной и химической промышленности, в производстве изделий санитарии и гигиены, медицинских приборов, спортивных товаров.

В промышленности используют многие виды стандартизованных и нормализованных резиновых изделий.

Техническая листовая резина предназначена для изготовления прокладок, клапанов, уплотнителей, амортизаторов и др.

Резиновый шнур круглого, квадратного и прямоугольного сечений используют для работы в качестве уплотнительных деталей.

Резинотканевые ленты применяют для ленточных конвейеров. Ленты состоят из тканевого сердечника послойной конструкции и резиновой обкладки рабочей и нерабочей поверхностей. Для прокладок применяют прорезиненные ткани: бельтинг и уточную шнуровую ткань.

Плоские и клиновые ремни в зависимости от назначения и конструкции подразделяются на три типа: нарезные – для малых шкивов и больших скоростей; послойно завернутые – для тяжелых работ с прерывной нагрузкой и средних скоростей; спирально завернутые – для работ с небольшими нагрузками и при малой скорости (до 15 м/с). Ремни всех типов изготавливают как с резиновыми обкладками (одной или двумя), так и без них. Приводные клиновые ремни состоят из кордткани или кордшнура, оберточной ткани, вулканизированных в одно изделие.

Рукава резинотканевые с металлическими спиральями и без них подразделяют на две группы: всасывающие – для работы под разрежением и на-

порно-всасывающие – для работы под давлением и разрежением. В каждой группе в зависимости от перекачиваемого вещества рукава подразделяют на следующие типы: бензостойкие, для воды, воздуха, кислорода и нейтральных газов, слабых растворов неорганических кислот и щелочей, жидких пищевых продуктов.

Резинотканевые напорные рукава применяют в качестве гибких трубопроводов для перемещения под давлением газов, жидкостей и сыпучих материалов; они состоят из внутреннего и наружного резиновых слоев и одной или нескольких прокладок из прорезиненной ткани.

Технические резиновые трубки: кислотощелочестойкие предназначены для перемещения растворов кислот и щелочей; теплостойкие – для работы на воздухе с температурой до $+90^{\circ}\text{C}$, в среде водяного пара с температурой до $+140^{\circ}\text{C}$; морозостойкие – для работы при температуре до -45°C ; маслостойкие; пищевые.

Резинотканевые шевронные, многорядные уплотнения служат для обеспечения герметичности в гидравлических устройствах при возвратно-поступательном движении плунжеров, поршней и штоков, работающих в среде воды и нефтяных масел.

Резиновые уплотнения применяют для валов, для работы в среде нефтяных масел и воде при избыточном давлении.

Сальниковые набивки предназначены для заполнения сальниковых уплотнителей в целях герметизации места выхода движущейся детали механизма; пропитанные набивки обеспечивают смазку.

16. Клеи из синтетических материалов

За последние годы клеящие материалы на основе синтетических полимеров приобретают все возрастающее значение во многих отраслях народного хозяйства. Клеевые соединения во многих случаях являются наиболее рациональными, а в некоторых случаях единственно возможными. Возрастающее значение клеев связано, прежде всего, с теми преимуществами, которые имеют клеевые соединения по сравнению с заклепочными, болто-

выми, сварными и другими соединениями. Это – в первую очередь возможность соединения между собой самых разнородных материалов. Современными клеями склеивают пластические массы, силикатные и органические стекла, натуральные и искусственные кожи, каучуки и резины, фарфор, керамику, бетон, изделия из бумаги, различные породы дерева, хлопчатобумажные и шерстяные ткани, изделия из синтетических волокон, а также сталь, серебро, медь, алюминиевые, магниевые, титановые сплавы и другие металлы.

Важным свойством клеевых соединений на основе синтетических клеев является их способность противостоять коррозионным воздействиям и гниению. К числу преимуществ клеевых соединений можно также отнести: отсутствие отверстий под болты или заклепки, ослабляющих скрепляемые элементы; более равномерное распределение напряжений в соединениях; относительно низкая стоимость производства клеевых соединений при массовом производстве. Применение клея в сварных и клепаных соединениях увеличивает их статическую прочность и сопротивление усталости. В то же время клеи не свободны от недостатков. Большинство клеев имеет относительно низкую стойкость при нагреве (до 350°C) вследствие органической природы основных компонентов клея. Новые клеи из элементоорганических и неорганических полимеров способны удовлетворительно работать при температурах, достигающих 1000°C и выше, однако большинство из них не обладает достаточной эластичностью, что пока сильно ограничивает их применение.

Синтетические клеи широко применяют для склеивания разнообразных материалов в автомобильной, авиационной, судостроительной, электро- и радиотехнической, химической, деревообрабатывающей, обувной, полиграфической промышленности и других отраслях народного хозяйства. Это дает большой технический и экономический эффект, позволяет совершенствовать изготовление элементов различных конструкций, приспособлений, приборов и изделий.

Первыми промышленными синтетическими клеями были клеи для дерева на основе фенолоформальдегидных и позднее карбамидных смол. Карбинольный клей и клеящие композиции типа БФ на основе совмещенных фенолоформальдегидных и поливинилацетатных смол значительно расширили область применения синтетических клеев. Стало возможным склеивание не только неметаллических материалов, но и металлов, а также металлов с неметаллическими материалами. В последнее время создано большое число клеев на основе таких полимеров, как полиэпоксиды, полиуретаны, полиамиды, полиэфиры и др.

Получены клеи на основе фенолоформальдегидных смол, синтетических каучуков, совмещенных с кремнийорганическими соединениями (с термостойкостью до 400°C).

Большое значение имеет применение клеев в авиационной промышленности, особенно вертолетостроении, где с их помощью изготавливают лопасти несущих винтов. В автомобилестроении и тракторостроении клеи успешно используют для приклеивания тормозных накладок к металлу. Широко используют клеи для соединения резины с металлом. Клеи применяют при изготовлении специальных составов для заделки и выравнивания неровностей металлических поверхностей автомобилей и самолетов, при изготовлении абразивных инструментов и т. д.

Для повышения прочности клеевого соединения склеиваемые поверхности обезжиривают и, если возможно, придают им шероховатость.

ГЛАВА III. ЗАЩИТНЫЕ И ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Лакокрасочные материалы

Лакокрасочные материалы применяют для нанесения покрытий с целью предохранения металлических и неметаллических изделий от коррозии и гниения, а так же для электроизоляции и с декоративной целью. При защите от коррозии роль лакокрасочных покрытий сводится к изоляции металла от внешней среды и прекращению действия гальванических микропар на поверхности металла.

Наиболее распространёнными лакокрасочными покрытиями являются краски, лаки и эмали. также находят применение пластмассовые покрытия. Особенностью этих материалов является их способность после нанесения на защищаемую поверхность и высыхания образовывать прозрачную (лаки) или непрозрачную (краски, эмали, пластмассы) защитную плёнку, которая характеризуется адгезией (сцеплением) с окрашиваемой поверхностью, механической прочностью, эластичностью и стойкостью к неблагоприятным воздействиям внешней среды (воды, газа, и т. д.).

Краски состоят из плёнкообразующих веществ, пигментов или красителей, наполнителей, растворителей и других веществ.

В качестве *плёнкообразующих веществ* могут использоваться: растительные масла, естественные (природные) смолы, конденсационные синтетические смолы, полимеризационные синтетические смолы, эфиры целлюлозы. Эти вещества являются основой покрытия.

Пигменты представляют собой тонкодисперсные порошкообразные вещества, вводимые в состав лакокрасочной композиции для придания плёнке определённого цвета и укрывистости (непрозрачности) и повышения световой, атмосферной, коррозионной, эрозионной стойкости и механической прочности плёнки. Пигменты, введённые в лакокрасочные композиции, не растворяются, а образуют суспензию.

Красители являются органическими соединениями, имеющими определённый цвет, способными при взаимодействии с различными веществами ок-

рашивать их и противостоять различным внешним воздействиям, не изменяя своего цвета.

Растворители используют для перевода в раствор основного плёнкообразующего вещества и создания рабочей консистенции. Они обладают избирательным действием, то есть могут растворять одни вещества, но не растворять другие. Основными растворителями являются: спирты, углеводороды, хлорорганические соединения, сложные и простые эфиры, кетоны, и т. д.

Пластификаторы предназначены для снижения хрупкости плёнки после высыхания. Важнейшими пластификаторами являются: касторовое масло, кастероль, дибульфталат, диотилфталат, трифенилфталат, трикрезилфосфат.

Сиккативы применяются для ускорения высыхания краски. Сиккативами в основном являются соли свинца, марганца, кобальта, цинка и кальция, образованные жирными кислотами (линолеаты), смоляными кислотами (резинаты) и нафтеновыми кислотами (нафтенаты).

Отвердители. Синтетические смолы для образования качественных лакокрасочных покрытий нуждаются в отвердителях, которые, реагируя с эпоксидной группой, образуют пространственные полимеры.

Антистарители (антиоксиданты) – это вещества, вносимые в лакокрасочные композиции для уменьшения влияния кислорода воздуха, приводящего к их хрупкости и старению. Антиоксидантами являются: дифенилгуандил, дифенилиланин, фенольная смола №101.

Поверхностно-активные вещества. Они применяются для повышения адгезии плёнкообразующих к укрываемым материалам и к частицам пигментов и наполнителей для образования более равномерной диспергированной суспензии лакокрасочной композиции.

Краски готовят на краскотёрочных машинах, между вращающимися валиками, которые растирают смесь плёнкообразующего с пигментом и наполнителем. Растирание проводят до образования однородной массы в виде суспензии – густотёртая краска. При использовании её разбавляют растворителем.

Лаки состоят из плёнкообразующего вещества и растворителя. В зависимости от происхождения плёнкообразующих веществ лаки разделяются на природные и искусственные, а по типу растворителя – на спиртовые и масляные. Лаки придают поверхности блеск и быстро высыхают. Некоторые лаки образуют термо- и химически стойкие плёнки. Кроме того они могут обладать электроизоляционными свойствами. Недостатком многих лаков является слабая адгезия к металлам и хрупкость защитной плёнки.

Эмали представляют собой растворы лаков с добавкой пигментов в органических растворителях.

2. Виды покрытий и области их применения

Различные лакокрасочные покрытия имеют широкое применение в самых разнообразных областях народного хозяйства. Заводы различных отраслей индустрии, строительные и коммунальные организации в своей повседневной деятельности используют разного рода лакокрасочные покрытия для защиты изделий и конструкций от разрушающего воздействия внешней среды, а также для декоративной отделки.

Лакокрасочные покрытия имеют существенные преимущества перед другими видами защитных покрытий. Они в большинстве случаев наиболее удобны по методу их нанесения, дешевы и часто более долговечны, чем металлические и другие виды защитных покрытий.

Защитные покрытия должны надёжно защищать материалы от разрушения (коррозии) под действием окружающей среды и в то же время иметь внешний вид, удовлетворяющий эксплуатационным и эстетическим требованиям. Лакокрасочные покрытия часто выполняют и ряд других функций: отражательную способность поверхности, обеспечение электроизоляционных свойств и т. п.

Покрытия служат как для защиты от коррозии металлов, так и для предохранения от разрушения неметаллических материалов (древесины, стеклопластиков и др.), прочностные и диэлектрические свойства которых при проникновении в них влаги резко ухудшаются.

В отличие от защитных покрытий, где главную роль играет защита материала от разрушения, покрытия с повышенными требованиями к внешнему виду (зеркальный блеск, узор) называют *защитно-декоративными*. Покрытия могут придавать поверхности гладкость или шероховатость, блеск или матовость, требуемый цвет или узор. Тот или иной вид отделки обуславливается не только эстетическими, но часто и эксплуатационными требованиями. Так, гладкость нужна для уменьшения аэро- и гидродинамического сопротивления поверхностей, работающих в условиях обмывания жидкостным, газовым или воздушным потоком (корпуса автомобилей, судов, летательных аппаратов); зеркальный блеск – для отражательных поверхностей (рефлекторы, прожекторы); матовость – для шкал приборов во избежание появления бликов, мешающих считыванию показаний прибора; различные яркие цвета – для быстрого распознавания объектов (провода систем коммуникаций, баллоны со сжатыми газами), белый и светлые тона – для увеличения освещенности помещений; зеленый цвет – для уменьшения утомляемости рабочих в цехах и т. д.

Некоторые покрытия наносят для предохранения деталей от механического разрушения – эрозии, износа при трении. Такие покрытия называют *износостойкими*. Они обладают твердостью и пористостью, что позволяет им хорошо удерживать смазку.

Лакокрасочные покрытия образуются на поверхности металла, дерева, штукатурки, стекла и других материалов в результате нанесения на них жидких лакокрасочных материалов и последующего их отверждения (высыхания). Основными составляющими жидких лакокрасочных материалов являются пленкообразующие вещества в чистом виде (олифы или лаки) или в смеси с пигментами и наполнителями (краски и эмали).

По составу пленкообразующего вещества различают две группы лакокрасочных материалов: непревращаемые пленки образуются при испарении растворителей, например первинилхлоридные, нитроцеллюлозные и др.; превращаемые пленки образуются вследствие сложных физико-химичес-

ких процессов окисления, полимеризации, конденсации или одновременно нескольких из этих процессов. Превращаемые пленки, например эпоксидные, алкидные, фенольно-масляные, не растворяются в органических растворителях.

По своему назначению лакокрасочные материалы разделяют на грунты, шпатлевки, эмали, лаки.

Масляные покрытия имеют хорошую атмосферостойкость, могут подвергаться холодной и горячей сушке, используются для внутренних и наружных работ, для грунтовых и лицевых покрытий самых разнообразных изделий. Благодаря достижениям в области синтетических пленкообразователей масляные краски стали употребляться значительно меньше. Однако покрытия на масляной основе еще довольно широко применяются в качестве антикоррозионных в различных областях промышленности. Недостатками масляных покрытий являются: медленное высыхание, невысокие механические свойства, высокая водонабухаемость и невозможность шлифования и полирования.

Безмасляные битумные покрытия неустойчивы к действию солнечного света, поэтому они применяются для изделий, эксплуатируемых внутри помещений, под водой и т. д. При введении растительных масел в битумные композиции увеличивается атмосферостойкость покрытий, особенно после горячей сушки. Введение алюминиевой пудры значительно повышает срок службы покрытия.

Алкидные или полиэфирные смолы являются ведущим видом лакокрасочных материалов. Широкое применение этих материалов обуславливается возможностью получения на их основе покрытий, пригодных для самых разнообразных целей: окраски вагонов и кузовов транспортных средств, сельскохозяйственных машин, различных приборов, трубопроводов, медицинской и кухонной мебели и т. д.

В зависимости от исходных компонентов различают *глифталевые* и *пентафталевые алкидные смолы*. На их основе готовят лаки для покрытий, а

также электроизоляционные, пропиточные и склеивающие лаки, грунты для черных металлов, пассивирующие грунты для легких сплавов, эмали разнообразных цветов. Эмали могут быть холодной (при комнатной температуре) и горячей (при температуре 80...150°C) сушки. Вследствие хорошей адгезии к металлу алкидные грунты часто используют как подслоя под нитро-целлюлозные и первинилхлоридные эмали. Покрытия некоторыми алкидными материалами выдерживают длительный нагрев при температуре 250°C.

Покрытия на основе мочевино- и меламиноформальдегидных смол имеют высокую твердость, блеск и эластичность. Меламиноформальдегидные покрытия обладают большей устойчивостью к нагреву и щелочам, чем мочевиноформальдегидные. Мочевино- и меламиноформальдегидные смолы с успехом используются, когда требуется сохранить цвет покрытия. Белые эмали горячей сушки применяют для окраски изделий широкого потребления: холодильников, стиральных машин, медицинского и торгового оборудования и т. д. Цветные эмали используют для окраски велосипедов, металлической фурнитуры, различных приборов и т. д. Хорошая прилипаемость мочевино- и меламиноформальдегидных покрытий дает возможность применять их в качестве грунтов.

Покрытия на основе эфиров целлюлозы отличаются блеском, твердостью, эластичностью, бензостойкостью и удовлетворительной атмосферостойкостью. Быстрое высыхание позволяет применять их для окраски массовой продукции при поточной системе производства на конвейерах.

Наиболее широко используют *покрытия на основе нитроцеллюлозы*. Нитролаки и нитрокраски высыхают за несколько минут, но полное отверждение, при котором покрытие можно шлифовать и полировать, наступает через несколько часов. Недостатками нитроцеллюлозных покрытий являются невысокая устойчивость к действию теплоты и ультрафиолетовых лучей и легкая воспламеняемость. Нитролаки и нитроэмали применяют для окраски

легковых автомашин, металлорежущих станков, внутренних деталей приборов (шкал, стрелок), мебели, карандашей и т. п.

Этилцеллюлозные покрытия отличаются большой химической стойкостью, механической прочностью, светостойкостью, высокой морозостойкостью, малой горючестью и хорошими диэлектрическими свойствами; выдерживают нагрев до 100...120°C. На основе этилцеллюлозы изготавливают электроизоляционные и химически стойкие лаки и эмали, которыми покрывают ткань, резину, бумагу. Ацетобутират целлюлозы, хорошо растворяясь в органических растворителях, также применяется для изготовления лаков. В отличие от нитролаков ацетобутиратные лаки образуют негорючие покрытия.

Покрытия на основе виниловых смол имеют высокую химическую стойкость к различным реагентам. Наиболее широкое применение получили различные сорта эмалей и лаков на первинилхлоридной основе – для окраски корпусов морских и речных судов, аппаратуры и металлоконструкций химических заводов, а также сельскохозяйственных машин и т. п.

Применяются также защитно-декоративные покрытия из порошкообразных полимеров во взвешенном состоянии. Для нанесения таких покрытий деталь очищают, обезжиривают и нагревают до температуры несколько превышающей температуру плавления полимера. Далее деталь помещают на 3...10 секунд во взвешенный (кипящий) слой порошка, который, попадая на нагретую поверхность, плавится и растекается, образуя равномерное покрытие. Для таких покрытий применяются пластичные полимеры: полиэтилен, полипропилен, полиамиды, полистирол и т. д.

При окраске сельскохозяйственных машин и тракторов применяют эмали ПФ-133. В качестве термостойких покрытий используют кремнийорганические лаки и эмали, например эмаль КО-88 способна длительное время работать при температуре до 500°C, а эмаль КО-589 работоспособна в диапазоне температур от -60 до +250°C. Кузова легковых автомобилей окрашивают эмалями МЛ-12, ПФ-1147, ГФ-1147 и другими.

Наиболее широкое применение лакокрасочные покрытия имеют для защиты изделий и конструкций от атмосферных влияний.

Водостойкие покрытия применяют для защиты различных конструкций, форм, гидротехнических сооружений, эксплуатируемых в воде, корпусов речных и морских судов. Для этих покрытий используется свинцовый сурик на натуральной олифе, а также битумные покрытия. Водостойкие покрытия могут быть получены на основе первинилхлоридных смол и полимеров дивинилацетилена (лак этиноль и эмаль ДП на железном сурике или алюминиевой пудре).

Химически стойкие покрытия применяют для защиты изделий и конструкций, эксплуатируемых в кислотных, щелочных и других агрессивных средах. К ним относятся первинилхлоридная смола, поливинилхлорид и его сополимеры, полиэтилен, эпоксидные смолы, битумные материалы и др.

Маслобензостойкие покрытия применяют для защиты деталей и конструкций, соприкасающихся с бензином, жидким топливом и смазочными маслами.

Термостойкие покрытия получают преимущественно на битумно-масляной, алкидно-масляной или кремнийорганической основе. В качестве пигментов употребляют железный сурик, литопон, графит, алюминиевую пудру и цинковую пыль.

Токопроводящие покрытия применяют в различных областях техники. Их получают нанесением эмалей, содержащих значительное количество (до 95...97%) металлических порошков (цинк, медь и др.). В качестве пленкообразующего используют полистирол или сополимеры винилхлорида, в качестве растворителя — ксилол или скипидар. Токопроводящая эмаль во время сварки защищает металл от окисления и изолирует его от коррозионного воздействия атмосферы.

Необрастающие покрытия применяют для защиты корпусов морских судов, различной подводной аппаратуры и гидротехнических сооружений

от обрастания водорослями и морскими организмами. Покрытия содержат различные яды, главным образом соединения меди, ртути и мышьяка.

Покрытия, устойчивые к действию плесени, применяют для изделий, эксплуатируемых в атмосфере с повышенной влажностью, особенно в тропическом климате. Микроорганизмы плесени разрушают пленкообразователь покрытий, используя его в качестве питательного вещества, и покрытие перестает выполнять свои защитные функции. Для предотвращения развития плесени в лакокрасочные материалы для верхних покровных слоев вводят фунгицидные добавки (тетрахлорфенол, каломель, различные фенилртутные соединения и др.).

Светящиеся покрытия применяют для шкал приборов, деталей механизмов, аварийного инструмента, противопожарного инвентаря, освечивания проходов и т. д. В светящихся покрытиях в качестве пигмента используют особые светящиеся порошки, называемые люминофорами. Используя примеси радиоактивных веществ, получают светящиеся покрытия постоянного действия.

Декоративные покрытия. К числу декоративных относятся покрытия «мороз» и «муар», молотковые, рефлексные, многоцветные покрытия и покрытия, имитирующие ценные породы дерева.

3. Герметики

Данная группа материалов предназначена для герметизации разборных и неразборных соединений. Герметики бывают отверждаемыми, сохраняющими пластичность и эластичность.

Пластичные герметики не обладают способностью возврата в исходное состояние. Эластичные – упруги, обладают способностью возврата в исходное состояние, имеют высокую деформируемость и используются для швов, которые могут менять своё положение при работе. Они имеют высокое сцепление с герметизируемой поверхностью.

Герметики бывают: резиновые, силиконовые, полисульфидные, акриловые, полиуретановые, полиизобутановые и т. д.

В технике наиболее распространены резиновые герметики. Герметизирующие составы на резиновой основе подразделяют на вулканизирующиеся и не вулканизирующиеся – невысыхающие и высыхающие.

Вулканизирующиеся герметики представляют собой жидкие или вязкотекучие пасты, поставляемые комплектно с отвердителями (вулканизаторами), переходящие в процессе вулканизации в эластичные газо- и гидронепроницаемые резиноподобные тела, хорошо заполняющие уплотняемые ими соединения.

К этой группе относятся тиоколовые герметики, которые являются наиболее универсальными и распространёнными. К ним относятся герметики У-30М, 51-УТ-36А, ВИТЭФ-4, У-30МЭС-5. Кроме герметизирующей пасты и вулканизатора они могут содержать ускоритель вулканизации. Все компоненты смешиваются непосредственно перед употреблением. Эти герметики химически стойки и могут применяться от -60 до +130°С.

Теплостойкие силиксановые герметики изготавливают на основе жидких силиксановых каучуков, они стойки при температурах от -100 до 300°С. Силиксановые герметики, также как и тиоколовые, состоят из герметизирующей пасты и вулканизирующих агентов, смешиваемых перед употреблением. К ним относятся ВИКСИНТ, У-1-18, КЛ-4, ВГО-1, Эластосил 11-01, Силпен, ВПГ-2Л.

Теплоупливозстойкие герметики разработаны на основе фторсодержащих каучуков. Эксплуатируются при температуре от -60 до +250°С. Предназначены для герметизации соединений топливной и масляной аппаратуры.

Невысыхающие герметики представляют собой термопластичные невулканизируемые замазки, пасты, мастики, предназначенные для уплотнения разборных соединений. При герметизации, а также разборке их нагревают до 30...50 °С. Предельная температура эксплуатации не выше 70°С.

Высыхающие герметики имеют в своём составе органические растворители, при испарении которых образуется пластичная плёнка, которая может быть повторно растворена.

Для заполнения зазоров неподвижных разборных соединений (резьбовых, фланцевых, прессовых и т. д.) и периодически подвижных (кранов, задвижек и т. д.) в целях герметизации, предохранения их деталей от коррозии и от воздействия агрессивных сред и обеспечения подвижности или разбираемости предназначены герметизирующие смазки. Для этой цели также широко применяют смазки с графитом и дисульфидом молибдена.

К герметизирующим смазкам относятся: ВНИИ НП-225, графитная БВМ-1, замазка ЗЗК-3у, паста КПТ-8 и другие.

4. Фосфаты.

Фосфаты относятся к химическим покрытиям, защищающим металл оксидными плёнками. При фосфатировании на поверхности металла образуется плёнка нерастворимых в воде фосфорнокислых соединений железа $Fe_3(PO_4)_2$ и марганца $Mn_3(PO_4)_2$. Защитные действия таких плёнок основаны на механическом препятствии ионам электролита или атомам внешней среды, взаимодействовать с металлом изделия. Для того чтобы оксидная плёнка защищала металл от коррозии, она должна быть плотной, беспористой и равномерно покрывать всю поверхность изделия.

Изделия, подвергаемые фосфатированию, очищают от окислов, грязи, обезжиривают и погружают в горячий раствор ($97...99^\circ C$) препарата «мажеф» (по наименованию основных компонентов солей: марганцевых и железных фосфатов), состоящего в основном из дигидроортофосфатов марганца и железа $nFe_3(H_2PO_4)_2$ $mMn_3(H_2PO_4)_2$. В результате обработки таким раствором на поверхности изделия образуются фосфаты железа и марганца. Продолжительность фосфатирования достигает одного часа, затем изделие вынимают, промывают и сушат. Фосфатированная поверхность имеет тёмный или тёмно-серый кристаллический слой, защищающий сталь от атмосферной коррозии. Кроме того, фосфатирование применяют как грунтовку под лакокрасочные покрытия и смазки.

5. Грунтовки

Грунтовки представляют собой лакокрасочные композиции, предназначенные для образования грунта, то есть первого слоя покрытия, наносимого непосредственно на укрываемую очищенную и обезжиренную поверхность и служащего в качестве специального подготовительного основания для последующих слоёв лакокрасочного покрытия. Существуют также грунтовки для консервации – защиты металла от коррозии во время хранения, такие грунтовки обладают малой адгезией к лакокрасочным покрытиям. По условиям работы грунтовки должны иметь хорошую адгезию к укрываемому материалу и заполнять все его неровности и поры, обладать защитными антикоррозионными свойствами к нему и хорошей адгезией по отношению к последующим слоям покрытия. Каждому виду укрываемого материала или другого материала соответствуют грунтовки определённого состава. Для лучшей защиты от коррозии применяют фосфатирующие грунтовки (марки ВЛ-02, ВЛ-023, ВЛ-08 и другие), в состав которых входит ортофосфорная кислота, благодаря которой создаётся защитная фосфатная плёнка, и протекторные грунтовки, в состав которых, в качестве пигментов введены металлические порошки, имеющие более низкий электродный потенциал, чем чёрные металлы.

Для грунтования чёрных металлов применяют фенольно-формальдегидные антикоррозионные грунтовки, которые наносятся на неокрашиваемые поверхности.

Для грунтования подготовленной поверхности кузова и других деталей легковых автомобилей методом распыления применяют грунтовку ЭФ-083 (ГОСТ 20468-75).

Для алюминиевых и остальных деталей, работающих при температуре до 200°С применяют грунтовку ФЛ-086 жёлтую.

Грунтовка ГФ-0114 используется для защиты от коррозии внутренних поверхностей сварных швов при точечной сварке дюралюминиевых обшивок и деталей.

При подкрашивании небольших площадей по металлу применяется грунтовка НЦ-097 серая (нитрогрунтовка 622).

Повышение производительности окрасочных цехов достигается при снижении времени высыхания грунтовок. Переход из вязущего в твёрдое состояние происходит либо в процессе химической реакции, либо физическим путём (при испарении растворителя), иногда эти способы комбинируют.

6. Шпатлевки

Шпатлевки состоят из минеральной части – пигмента и наполнителей (до 85...90% состава), затёртых на специальных шпатлевочных лаках (или других пленкообразующих) с добавлением пластификаторов, отвердителей, поверхностно-активных и других веществ до образования однородной тонкодисперсной пластичной (пластообразной) массы, предназначенной для выравнивания неровностей металлических, пластмассовых, деревянных и других поверхностей деталей перед окрашиванием и уже окрашенных в процессе выправки обнаруженных дефектов.

Шпатлевки обладают хорошей адгезией, обеспечивающей прочное сцепление с грунтованной и негрунтованной (грунтовки, подмазки и грунтошпатлевки) поверхностями и достаточной пластичностью, способствующей отведению шпатлевочного слоя оптимальной толщины (0,1...0,4 мм) без образования трещин, отслоений. Затвердевшая шпатлёвка шлифуется пемзой или специальными шкурками с водой для обеспечения хорошей подложки для нанесения лакокрасочной плёнки. Некоторые шпатлёвки обладают особыми свойствами: термостойкостью, химической стойкостью, малой теплопроводностью и т.д.

Грунтошпатлевки ГФ-018-2 и ГФ-018-3 (жёлтые) и ГФ-018-4 и ГФ-019-0 и ГФ-018-7 (серые) предназначены для нанесения на кузова и детали оперения автомобилей по металлу и грунтовке.

Грунтошпатлёвки 178 (коричневая) и 188 (серая) применяются для легковых автомобилей с нанесением двух слоёв.

Шпатлёвка ГФ-0075 (розовая и серая) выпускается для автозаводов. Её применяют в качестве промежуточных покрытий по грунту ГФ-020 или ГФ-032 для выравнивания загрунтованной поверхности под нитроэмали. Рабочая вязкость шпатлёвки, разбавленной сольвентом в количестве 10...25%, при 10...20°С составляет 14...16 с. Время высыхания при 100...110°С не более одного часа.

Подмазка 200 – паста на основе глифталевого или пентафталевого лака, предназначена для заполнения отдельных пор и царапин на металле. Продолжительность высыхания при 20°С не более 30 минут.

7. Светоотражающие материалы

Светоотражающие материалы применяемые в автомобиле- и тракторостроении, могут выполнять двоякую функцию: быть декоративными элементами и элементами безопасности.

Безопасность обеспечивается применением различных красок.

Светящиеся покрытия (люминофоры) – это вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждений. Они широко применяются для шкал и стрелок приборов, пожарных предупредителей и других указателей аварийного освещения, рычагов и кнопок управления. Они образуются путём внесения в лак-основу в качестве пигментов фото- и радиолуминофоров. В первом случае образуется светящееся покрытие временного действия, во втором – длительного. Различают краски фосфоресцирующие, то есть светящиеся короткое время после возбуждения люминофора и флуоресцирующие, для свечения которых требуется внешний источник света. Последние широко применяются для дорожных знаков, автомобильных номеров, а также для обозначения негабаритных грузов.

Для окрашивания емкостей для хранения легковоспламеняющихся веществ используют краски, содержащие в качестве пигмента алюминиевую пудру. Такие краски обладают способностью отражать значительную часть солнечных лучей, в результате чего нагрев ёмкостей снижается, а вместе с этим снижается вероятность пожара.

Для придания привлекательного внешнего вида автомобилям их окрашивают глянцевыми красками. При этом если используются светлые краски, способные отражать более 60% падающего света, уменьшается нагрев воздуха в салоне автомобиля и условия труда водителя становятся более безопасными (так как снижается утомляемость).

В качестве декоративных покрытий применяют хром и никель. Кроме улучшения внешнего вида эти покрытия способны защищать металл от коррозии, повышать его твёрдость. Наиболее простой способ нанесения таких покрытий – электролитический. Электролитический способ нанесения металлических покрытий состоит в осаждении металлов из водных растворов солей на поверхность металлических изделий при помощи электрического тока, подведённого извне. Таким способом получают относительно тонкие покрытия, прочно сцепленные с изделием. Для нанесения покрытий изделие очищают от окислов, обезжиривают и помещают в ванну с раствором солей металла, служащих электролитом. Изделие соединяют с отрицательным полюсом источника тока, и оно служит катодом, а анодом служит пластинка осаждаемого металла, которую подключают к положительному полюсу. При пропускании тока на изделии кристаллизуется металл из растворов солей электролита.

Для светоотражения применяется краска БТ-177, которая отражает солнечные лучи, а для окраски объектов, которые должны быть видны на значительном расстоянии (дорожные знаки, средства спасения и т.д.) применяют флуоресцентные эмали АС-554, выпускаемые нескольких цветов.

8. Энергопоглощающие материалы

Энергопоглощающие материалы широко используются в технике для снижения динамических и знакопеременных нагрузок, что способствует увеличению срока службы и надёжности машин и механизмов. Материалы этой группы могут быть металлами и неметаллами.

Для изготовления пружин применяются пружинные стали и бронзы. К пружинным относятся стали, содержащие 0,5...1,2% углерода, они могут

быть углеродистыми и легированными. Углеродистые стали имеют низкую стоимость, а легированные обладают высоким пределом текучести и выносливости при достаточной вязкости и пластичности. Термическая обработка сводится к закалке и высокому отпуску. Бронзы применяют в пружинах с высокой электропроводностью.

Магниевые сплавы хорошо поглощают вибрацию. Их идеальная вибрационная прочность с учётом демпфирующей способности почти в 100 раз больше, чем у дюралюминия, и в 20 раз больше, чем у легированной стали. Наиболее стоек к вибрационным нагрузкам сплав МЦИ. Его демпфирующая способность в десятки раз больше чем у других магниевых сплавов.

Для восприятия ударных нагрузок используется резина. Основным элементом резины является каучук, который может быть натуральным (НК) или синтетическим (СК).

Листовая резина в зависимости от условий эксплуатации бывает: тепло-розокислотощелочестойкой (ТМКЩ), атмосферномаслостойкая (АМС), маслобензиностойкая (МБС). Кроме того резина различается по твёрдости на: мягкую – для работы от -45 до $+90^{\circ}\text{C}$, средней твёрдости – для работы от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$, повышенной твёрдости (эбонит). Листовая резина обладает высокой эластичностью, сопротивлением разрыву и истиранию, она гидро- и газо- непроницаема, химически стойка. Листы выпускаются толщиной 2...60 мм, шириной 250...1000 мм и длиной 250...3000 мм.

Губчатая резина используется в качестве амортизирующих подушек. Она бывает с открытосообщающимися порами (латексная губка, пенистая резина) и с закрытыми порами (ячеистая резина). Относительное удлинение при разрыве такой резины составляет 300%, а остаточная деформация при многократном нагружении не превышает 7,5%.

Для амортизации также используют пенопласт ПВХЭ, который является продуктом вспенивания поливинилхлоридных паст. Этот материал имеет плотность $0,1 \dots 0,2 \text{ г/см}^3$.

К энергопоглощающим материалам также относятся пластмассы и пластики, например полиэтилен низкого давления и пропилен.

9. Безопасные интерьерные и отделочные материалы

Безопасные материалы не должны гореть и выделять токсичных веществ. К этой категории относятся нижеперечисленные материалы.

Невоспламеняющаяся ткань представляет собой хлопчатобумажную ткань, пропитанную огнезащитным составом. Такая ткань после выдерживания в пламени в течение 15 секунд не горит и не тлеет. Огнезащитные свойства сохраняются после шести химических чисток и после кипячения в дистиллированной воде.

Кожзаменители. К этой категории относятся *клеенка, нитрокожа, винилкожа*, обивочная и облицовочная. Они представляют собой ткани, покрытые с одной или с обеих сторон специальными пленками. Пленки изготавливают: для клеенки – на основе растительного масла, нитрокожи – из нитроцеллюлозы, винилкожи обивочной и облицовочной – на основе поливинилхлорида.

Клеенка малогорюча и водонепроницаема, сохраняет свои качества до температуры +260°C. *Нитрокожа* – эластична и не слипается при складывании и сжатии лицевыми сторонами, светопрозрачна; *винилкожа* – устойчива к многократному сгибанию, устойчива к мокрому трению и не слипается при складывании и сжатии лицевыми сторонами, морозостойка: обивочная до -40°C, облицовочная – до -30°C.

Кожа состоит из внутреннего и наружного слоёв. Наружная сторона – гладкая, блестящая, может окрашиваться в различные цвета. Внутренняя сторона – не гладкая называется бахромой. Кожа отличается высокой прочностью и негорючестью. Наряду с кожей применяется дублёная замша с высоким ворсом.

Бумажнослоистые декоративные пластики (ГОСТ 9590-76). Это продукт прессования специальных видов бумаги, пропитанных синтетическими терморезистивными связующими. Они применяются в отделке жилых и производственных помещений, а также при отделке салонов транспортных средств.

Такие пластики изготавливаются в виде листов толщиной от 1 до 3 мм, шириной 400...1600 мм и длиной 400...3000 мм (с интервалом 25 мм). В зависимости от лицевой стороны (ее качества) они подразделяются на три марки: А – для условий, требующих повышенной износостойкости (горизонтальные покрытия); Б – для вертикальных поверхностей; В – применяется в качестве подделочного материала. Бумажнослоистые пластики имеют относительно высокие механические характеристики, так напряжение изгиба для пластика А: $\sigma_{и} = 120$ МПа. Их термическая стойкость достигает 180°C.

**Винилпласт УВ-10* получают при введении в поливинилхлорид наполнителя – стабилизатора. Его выпускают в виде гранул для литья в экструзии. При введении в пластмассовую композицию дополнительно до 30 ... 40% пластификатора получают мягкие пластмассы. Из них по ТУ 6-01-629-71 изготавливают бамперы, подлокотники и другие автоизделия. По ТУ 6-05-1404-72 получают профили для отделки автомобилей, плёнки для обивки салонов и т.д.

Фторопласт – 1 является полимером винилхлорида. Обладает высокой декоративностью, сочетающейся с атмосферо- и химической стойкостью и антиадгизионностойкостью. Широко применяется при отделке салонов самолётов, вагонов, автобусов.

Для изготовления рулевых колёс и других изделий с повышенной морозостойкостью применяют *ацетицеллюлозный эстирол* марки АЦЭ – 55АМСП. Его получают из эфиров целлюлозы. Также применяются трудновоспламеняющиеся марки АЦЭ – 47ТВ. Для тех же целей применяют ацетобутиратцеллюлозные эстры марки АБЦЭ – 20, АБЦЭ – 15-АТ.

Во внутренней отделке салонов автобусов широко применяются алюминиевые профили, а во внешней отделке легковых автомобилей – профили из резины и пластмасс.

10. Технология окраски и отделки

Технологический процесс окраски состоит из следующих основных операций: подготовки поверхностей под окраску; грунтования; шпатлевания; шлифования; нанесения промежуточных и внешних слоев покрытия, сушки, полирования.

Подготовка поверхностей под окраску. При плохой подготовке покрытие будет отслаиваться и иметь плохой вид; кроме того, возрастет трудоемкость отделочных операций. В отдельных случаях пористые материалы предварительно пропитывают специальными составами для заполнения пор, антисептирования, защиты от воспламенения и т. п.

Антикоррозионная защита и достаточная сцепляемость покрытия с металлом могут быть обеспечены лишь при тщательной очистке обрабатываемого изделия от посторонних загрязнений. Детали и изделия, поступающие под окраску, часто имеют механические дефекты: заусенцы, вмятины, забоины, царапины, раковины, острые кромки и т. д. Особенно важно полное удаление окалины, ржавчины, формовочной земли, остатков сварочных флюсов и других загрязнений.

Перед нанесением защитных или декоративных покрытий детали и изделия подвергают механической, термической, химической или электрохимической обработке. Механическая обработка применяется для удаления окалины, ржавчины, шлаковых включений, старой краски, устранения царапин, неровностей и других дефектов. Термической обработкой удаляют окалину, ржавчину, а также старую краску. Химическую и электрохимическую обработку проводят для удаления окалины и продуктов коррозии, жировых загрязнений.

Механическая обработка может выполняться в виде пескоструйной, дробеструйной или дробеметной очистки, крацевания, шлифования и очистки ручным инструментом.

Пескоструйная очистка является одним из эффективных методов подготовки поверхности. Сущность процесса состоит в том, что струя просе-

янного и просушенного кварцевого песка направляется сжатым воздухом через специальное сопло на поверхность изделий. Песок, ударяясь о поверхность изделия, очищает ее; поверхность становится серой, матовой, с равномерной шероховатостью.

Крацевание — процесс обработки изделий с помощью быстро вращающихся проволочных щеток.

Шлифованием придают изделиям ровную и гладкую поверхность и удаляют окисные пленки; оно осуществляется на станках или ручным способом с помощью абразивных дисков или кругов, шлифовочными шкурками, порошкообразными абразивными материалами.

Термическая обработка поверхности производится с помощью кислородно-ацетиленовой или керосиново-кислородной горелки. Окалина, имея небольшой коэффициент теплового расширения, при термической обработке растрескивается и отслаивается. Ржавчина разрыхляется и легко удаляется проволочной щеткой или наждачной шкуркой. Термический способ очистки отличается экономичностью и высокой производительностью; он применяется для изделий, имеющих толщину не менее 5 мм (для предотвращения коробления и деформации металла). Окрашивание производят сразу же после очистки, пока металл еще теплый, — это сокращает срок сушки лакокрасочных покрытий.

Химическая и электрохимическая обработка поверхностей, т. е. обработка металлических изделий в растворах кислот, кислых солей или щелочей в целях удаления окислов с поверхностей деталей, называется *травлением*. При травлении детали погружают в соответствующие растворы, реагирующие с окислами данного металла. Перед травлением изделия очищают от жировых загрязнений. Электрохимическое травление дает возможность значительно быстрее провести травление и сократить расход кислоты.

Непосредственно перед нанесением защитных покрытий детали подвергают *декапированию* – быстрому удалению легкого налета окислов, образующихся на поверхности очищенных изделий.

Удаление с поверхности изделий жировых и масляных загрязнений проводят с помощью веществ, растворяющих жиры и масла или их эмульгирующих (собирающих в эмульсию).

Обезжиривание осуществляют органическими и щелочными растворителями, электрохимической обработкой. При обезжиривании органическими растворителями обычно применяют бензин, лаковый керосин, скипидар, дихлорэтан и другие жидкости.

Хлорсодержащие растворители хорошо растворяют жиры и масла; они не взрывоопасны, не воспламеняются (обезжиривание можно проводить при повышенной температуре). Недостатком органических растворителей, особенно хлорсодержащих, является токсичность их паров.

Для обезжиривания железа, стали, чугуна, никеля, меди и других металлов, трудно растворяющихся в щелочах, используют растворы едких щелочей. Для изделий из олова, свинца, цинка, алюминия употребляют растворы щелочных солей, например углекислый натрий, фосфорнокислый натрий, углекислый калий, жидкое стекло, мыло. Обычно пользуются смесью солей, а для ускорения обезжиривания добавляют небольшое количество едкого натра. При электрохимическом обезжиривании употребляют растворы того же состава, что и при химическом обезжиривании.

Для ускорения процессов обезжиривания и травления металлических поверхностей широко используют метод ультразвуковых колебаний. Для проведения очистки детали помещают в соответствующие среды, которые подвергают «озвучиванию». Эффективно применение ультразвуковых колебаний для очистки мелких деталей и деталей сложной конфигурации, когда обычные способы очистки связаны со значительной продолжительностью процесса и низким качеством очистки труднодоступных участков.

Использование ультразвука обеспечивает высокое качество очистки, значительное ускорение процесса и сокращение производственных площадей.

Грунтование. Основной целью грунтования – нанесения первого слоя лакокрасочного покрытия непосредственно на окрашиваемую поверхность – является создание хорошей сцепляемости между металлом и последующими слоями лакокрасочных покрытий. При нанесении на металлы грунтовочный слой должен быть стойким к действию веществ, вызывающих коррозию. Цвет грунтовочного слоя в непрозрачном покрытии не имеет решающего значения. Материал, применяемый для нанесения грунтовочного слоя, называется грунтом. Образование лакокрасочной пленки происходит в процессе сушки лакокрасочного материала, нанесенного на поверхность.

Шпатлевание. Между грунтом и верхними покровными слоями наносят промежуточные слои. Окрашиваемая поверхность различных объектов и изделий обычно имеет вмятины, раковины, царапины и прочие дефекты, которые заполняются и выравниваются с помощью шпатлевания. Крупные дефекты окрашиваемых поверхностей лучше устранять предварительной механической обработкой (обрубкой, шлифованием, пескоструйной обработкой, галтовкой), так как толстый и недостаточно эластичный слой шпатлевки подвержен растрескиванию, вследствие чего нарушается прочность покрытия.

Шпатлевка, или подмазочная масса, представляет собой густую пасту, состоящую из пигментов и наполнителей (железный сурик, охра, мел и др.), затертых на пленкообразующих основах. Различают клеевые, масляные, лаковые, нитроцеллюлозные, первинилхлоридные, эпоксидные и другие шпатлевки.

Шлифование (прошкуривание). Применяют для устранения шероховатостей и неровностей высохшей зашпатлеванной поверхности перед последующей окраской; а также и для улучшения сцепления между слоями по-

крытия. Для шлифования используют абразивные шкурки различной зернистости.

Нанесение промежуточных и внешних слоев покрытия. Производят после грунтовки и шпатлевки (если таковая предусмотрена). Первый слой краски наносят более тонким, чем последующие. Он является «выявительным» – выявляющим все дефекты после шлифования по шпатлевке. Выявленные дефекты исправляют быстросохнущими шпатлевками, после чего наносят последующие слои покрытия. Покровные, или лицевые, слои покрытия придают поверхности изделия нужный цвет, оттенок, блеск или матовость, укрывистость, а иногда и рисунок. После нанесения последнего лицевого слоя для придания покрытию желаемого вида производят *флейцевание* – сглаживание свежеокрашенной поверхности мягкими сухими кистями, *торцевание* – обработку поверхности с помощью щетки (торцовки) для придания ей шагренеобразного вида, *лакирование* – нанесение лака или *полирование* лицевого покрытия полировочной пастой и водой.

Способы нанесения лакокрасочных материалов. При нанесении лакокрасочных материалов применяют следующие основные способы окраски: кистевая окраска, окраска распылением, окраска погружением и обливанием.

Кистевая окраска – нанесение краски кистью. При этом краска должна иметь малярную консистенцию, т. е. должна легко сходить с кисти при небольшом нажиме на окрашиваемую поверхность и допускать легкую растушевку. Преимущество этого способа состоит в том, что растушевывание дает хорошее прилипание краски к поверхности.

Окраска распылением в несколько раз производительнее кистевой окраски и применима для самых разнообразных лакокрасочных материалов. Распылением можно окрашивать любые изделия (за исключением очень мелких). Совершенным методом является окраска в электростатическом поле. При этом покрытие получается равномерным, сплошным и без подтеков. При этом способе по сравнению с кистевой окраской расходуется

на 30...50 % меньше материалов. Процесс может быть полностью автоматизирован.

Окраска погружением и обливанием производительна и проста по технике выполнения. Для окраски погружением используют преимущественно глифталевые и другие маслосодержащие эмали. Окраску в барабанах применяют для мелких изделий. Этот вид окраски отличается высокой производительностью и малым расходом материала.

Накатка краски вальцами применяется для окраски и лакировки плоских изделий, например досок, стен листового материала и др.

Сушка лакокрасочных покрытий. Нанесенные на поверхность лакокрасочные покрытия подвергают холодной или горячей сушке. *Холодную сушку* проводят на воздухе при температуре не ниже 12 °С и относительной влажности не более 65%. Горячую сушку осуществляют горячим воздухом (конвекционная сушка), инфракрасными лучами (радиационная), токами промышленной или повышенной частоты (индукционная). Температура сушки зависит от употребляемого лакокрасочного и окрашиваемого материала.

Чрезмерно высокая температура может вызвать ухудшение прочностных свойств окрашиваемого материала и дефекты в покрытии (вздутие, растрескивание, изменение цвета, обугливание).

Сушку горячим воздухом производят в сушильных шкафах или камерах; в зависимости от вида лакокрасочного материала и температуры ее продолжительность составляет 0,5...6 ч.

Сушка инфракрасными лучами длится 10...20 мин. Инфракрасные лучи проникают через лакокрасочное покрытие и практически мгновенно разогревают окрашенный металл; сушка происходит из глубины к поверхности. Это исключает образование пузырей. Излучатели инфракрасных лучей подразделяются на светлые и темные. Светлыми излучателями служат обычные электрические лампы с рефлекторами мощностью 250...500 Вт. Они хрупки и недолговечны, отфильтровывают стеклянной колбой

лампы длинноволновую область излучения, расходуют много электроэнергии. Темные излучатели не имеют этих недостатков. Это металлические или керамические листы, которые нагревают горячими газами или электронагревателями. Передвижные установки с инфракрасными излучателями применяют для быстрой сушки надписей и рисунков на окрашенной поверхности.

Сушку переменным током промышленной и повышенной частоты используют при окраске изделий из стали и других материалов, обладающих высокой магнитной проницаемостью. Вблизи окрашенной поверхности помещают обмотку электромагнита. Образующееся магнитное поле нагревает металл за счет перемагничивания (в случае большой петли гистерезиса) и токов Фуко. Особенно быстро (в течение 3...5 мин) осуществляется сушка при токе повышенной частоты (650...750 Гц). Этот метод сушки пригоден для деталей несложной формы, потому что при сложной конфигурации деталей трудно обеспечить равномерность нагрева.

Полирование. Полирование лакокрасочных покрытий производят для придания им устойчивого блеска и декоративной отделки поверхностей. Этот вид обработки гладких поверхностей лакокрасочных покрытий осуществляется специальными эластичными кругами и доводочными пастами в сочетании с абразивными или алмазными микропорошками зернистостью М7...М1. Материалами для изготовления эластичных кругов служат: фетр, войлок, текстиль. Круги могут быть прессованными или прошитыми для сообщения им необходимой прочности. Иногда используют деревянные круги, обтянутые кожей.

На эластичные круги с более жесткой основой микропорошки наносят шаржированием, на мягкие круги наносят абразивную или алмазную пасту. Первый способ используют для удаления дефектных слоев сравнительно большой толщины. Поверхность после обработки получается осветленной, но с плохими отражательными свойствами. Во втором способе, удаляя ми-

нимальные припуски, получают полированную поверхность с хорошими декоративными и отражательными свойствами.

Эластичные круги используют также для подготовки поверхностей перед нанесением износостойких, декоративных и других покрытий.

Библиографический список

1. Ануриев, В. И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3-х т.Т. 1 [Текст] / В. И. Ануриев: под. ред. И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
2. Гребенок, В. М. Повышение надежности металлургического оборудования [Текст]: справочник/ В. М. Гребенок, А. В. Гордиенко, В. К. Цапко. – М.: Металлургия, 1988. – 688 с.
3. Заграничный, В. И. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по выбору конструкционных материалов [Текст] /В. И. Заграничный, А. А. Зюзин. – Липецк: ЛипПИ, 1990. – 20 с.
4. Зюзин, А. А. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по выбору инструментальных материалов [Текст] / А. А. Зюзин, В. И. Заграничный. – Липецк: ЛипПИ, 1991. – 32 с.
5. Конструкционные материалы [Текст]: справочник/под. ред. Б. Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
6. Рассказов, В. М. Машиностроительные материалы [Текст]: краткий справочник/В. М. Рассказов, В. С. Чуенков. – М.: Машиностроение, 1980. – 511 с.
7. Соломатов, В. Н. Полимерные композиционные материалы [Текст]/В. Н. Соломатов, А. Н. Бобрышев, К. Г. Химмлер: под. ред. В. Н. Соломатова. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.
8. Технология конструкционных материалов. [Текст]: учебное пособие для ВУЗов /под. ред. М. А. Шатерина. – СПб.: Политехника, 2005. – 597с.

Зюзин Александр Алексеевич
Казьмин Борис Николаевич

КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ЗАЩИТНО-ОТДЕЛОЧНЫЕ

МАТЕРИАЛЫ

Учебное пособие

Редактор Е. А. Федюшина

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Ризография. Печ. л. 11.1 . Тираж 200 экз. Заказ №

Липецкий государственный технический университет.

398600 Липецк, ул. Московская, 30.

Типография ЛГТУ. 398600 Липецк, ул. Московская, 30.