Ю.Т. ВИШНЕВЕЦКИЙ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ КОЛЛЕДЖЕЙ

УЧЕБНИК



Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°»

Ю. Т. Вишневецкий

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

для технических колледжей

Учебник

Москва • 2006

УДК 620.22(075.32)
ББК 30.3я723
В 55

Вишневецкий Ю. Т.

В55 Материаловедение для технических колледжей. Учебник / Ю. Т. Вишневецкий. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2006. – 332 с.

В учебнике приведены основные сведения о строении, физико-механических и технологических свойствах материалов. Изложены вопросы производства и термической обработки металлов и сплавов. Содержится информация о полимерных, композиционных и неметаллических материалах. Рассмотрены физико-химические свойства и эксплуатационные характеристики горюче-смазочных материалов и рабочих жидкостей.

Данное издание соответствует минимуму содержания предмета «Материаловедение» государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования для профессий, связанных с эксплуатацией, ремонтом и обслуживанием машин и механизмов, обработкой различных материалов.

Учебник предназначен для студентов технических колледжей и техникумов.

УДК 620.22(075.32)
ББК 30.3я723
КТК 204

© Вишневецкий Ю. Т., 2006

Предисловие

В соответствии с современными требованиями к изложению научных основ учебных дисциплин фундаментальные вопросы теории выделены в самостоятельные разделы.

Значительное внимание уделено вопросам структурообразования в сплавах и общей взаимосвязи эксплуатационных свойств с химическим составом сплавов. Обзор конкретных групп сплавов основан на базе фундаментальных представлений теории сплавов. При описании классификации и применения материалов использован системный подход.

В отдельной главе рассмотрены вопросы теории и практики термической обработки железо-углеродистых сплавов как основных машиностроительных материалов. В расширенном виде представлен учебный материал, посвященный цветным сплавам, неметаллическим и композиционным материалам в связи с возрастанием их роли и объемов применения в промышленности.

Подробно изложены вопросы производства, обработки и областей применения материалов в связи с требованиями к выпускникам машиностроительных колледжей в умении выполнять производственно-технологическую, организационно-управленческую, конструкторско-технологическую деятельность в соответствии с квалификационной характеристикой по профессии.

При подготовке данного издания автор руководствовался Государственными требованиями к минимуму содержания предмета «Материаловедение» (ОСТ 9 ПО 03.04.01-95) и к уровню подготовки выпускников машиностроительных колледжей, связанных с ремонтом и обслуживанием машин и механизмов, обработкой различных материалов.

Из истории материаловедения

Долгое время в технической практике люди использовали готовые природные материалы, совершенствовали их, создавали новые технологии производства и обработки. Вся история существования человечества связана с освоением материалов: каменный век сменился медно-каменным, а затем бронзовым и железным веками.

Изготовив первые орудия труда из камня и кости, человек стал обрабатывать древесину, шкуры, освоил обжиг глины. Следующим этапом освоения материалов стало плавление и литье меди, затем открытие оловянной бронзы и освоение железа. Совершенствовалась технология переплавки металлических руд, прокаливанием и ковкой полуфабрикатов стали получать кузнечное железо.

Новую эпоху в развитии материалов открыло использование энергии падающей воды для привода машин. Появилась возможность нагревать металл до температур, превышающих температуру плавления железа, перерабатывать расплав в ковкое железо, очищать металлы от примесей. Эти достижения в области производства материалов определяли уровень технического развития на протяжении многих веков.

Применение каменного угля вместо древесного в качестве топлива при плавлении руд и открытие коксования каменного угля способствовало ускоренному развитию металлургии. Возрастание спроса на машины привело к возникновению машиностроения как отрасли промышленности. В то время мануфактурным производством была освоена лишь немногочисленная группа материалов, что ограничивало возможности развития машин.

Превращение ручных мануфактур в фабричную систему использования машин привело к изменению уровня техники и технологии материалов. Расплавленный чугун был впервые превращен в сталь. Были изобретены три процесса производства стали, названных по имени их создателей, — бессемеровский, мартеновский, томасовский.

Рост промышленности требовал больших объемов материалов. В связи с этим возникла необходимость научных обобщений и рекомендаций. Начиная с XIX в. материаловедение стало прикладной наукой.

Научные исследования и открытия в области химии и металловедения способствовали развитию металлургического производства, созданию новых сплавов и методов их обработки. После открытия бензола началось развитие новой отрасли промышленности, вырабатывавшей красители, медикаменты и множество синтетических машиностроительных материалов. На основе теории химического строения вещества были разработаны и получены полимеры. Новый материал бакелит стал первым продуктом промышленности пластических масс.

В XX в. разрабатываются и бурно развиваются новые технологические процессы: непрерывная разливка стали и кислородно-конвертерный процесс, электрометаллургия стали и ферросплавов; вакуумная металлургия; электросварка; термомеханическая обработка металлов и многие другие.

Благодаря фундаментальным исследованиям в области металловедения быстро растет число сплавов, обладающих специфическими свойствами: противокоррозионными, жаростойкими и жаропрочными, особыми магнитными, «памятью» механической формы и т. д.; создаются новые типы материалов: сверхпроводники, полупроводники и др.

Развиваются исследования в области синтеза и переработки полимеров, направленные на улучшение их механических свойств, повышение стойкости к воздействию сред и высоких температур.

Одним из направлений материаловедения стало получение композиционных материалов путем сочетания разнородных компонентов. Развитие технологий обработки и модификации материалов позволило применить традиционные материалы в жестких условиях эксплуатации современной техники.

Все возрастающий объем производства материалов истощает естественные источники сырья, значительно увеличивает количество промышленных отходов, приводящие к катастрофическим изменениям в биосфере Земли, угрожая самой жизни на планете.

XXI в. ознаменовался широким внедрением в производство малоотходных технологий практически во всех отраслях промышленности. Расширяются области применения вторичного сырья как альтернативы традиционным источникам сырья.

Достижению экологической чистоты производственной деятельности человека будут способствовать меры по снижению энерго- и материалоемкости продукции, использование экологически чистых материалов и безвредная утилизация неиспользованных отходов.

Предмет материаловедения

Конструирование, изготовление, эксплуатация и ремонт машин и приборов связаны с машиностроительными материалами и их использованием.

Материалы — это *исходные* вещества для производства продукции и *вспомогательные* — для проведения производственных процессов.

Различают следующие разновидности материалов:

— *сырье*, или *сырые материалы*, которые подлежат дальнейшей переработке (железная руда на металлургическом заводе, нефть на нефтеперерабатывающем комбинате);

— *полуфабрикат* — переработанный материал, который должен пройти одну или несколько стадий обработки для того, чтобы стать изделием, годным к потреблению.

Готовая продукция одного производства может служить полуфабрикатом для другого.

Для успешного решения многих практических задач необходимы сведения о современных способах получения и обработки материалов, их свойствах и рациональном применении. Вопросы строения и свойств металлов, сплавов, неметаллических материалов, горюче-смазочных материалов и эксплуатационных жидкостей, применяемых в конструкциях автомобилей и необходимых для их эксплуатации и ремонта, рассматривает материаловедение.

Материаловедение — наука, изучающая связь между строением (структурой) и свойствами материала, а также их изменения при внешних воздействиях (тепловом, механическом, химическом и т. д.).

Материаловедение позволяет правильно выбрать материал и технологию его переработки для обеспечения эксплуатации изделия в течение заданного времени.

Тенденции и перспективы развития материаловедения

При создании новых изделий всегда ставится цель повышения эффективности и качества известных, существующих изделий: увеличение рабочих давлений, скорости и температуры, снижение массы изделий, приходящейся на единицу создаваемой или передаваемой мощности. В лучших образцах техники реализуются последние достижения науки. Работоспособность машин тесно связана с достижениями материаловедения.

Развитие многих областей современной техники обусловлено применением высокопрочных материалов. В XX в. прочность основных машиностроительных материалов возросла в 8—10 раз, напряжения, при которых происходит разрушение высокопрочных сталей, превышают 103 МПа. Перед наукой стоит проблема сделать высокопрочные материалы такими же надежными и недорогими, как рядовые.

Тенденция машиностроения к уменьшению эффективной массы изделий, т. е. массы, приходящейся на единицу мощности или производительности машин, обусловливает необходимость разработки материалов, в которых высокая прочность сочетается с малой плотностью. Примером таких материалов служат сплавы магния и лития, изделия из которых по сопротивлению деформированию превосходят конструкции той же массы из стали и титана. В качестве легких заполнителей силовых конструкций, демпфирующих, тепло- и звукоизолирующих элементов в современной технике используют большую группу газонаполненных материалов.

Низкие значения прочности стали при высоких температурах были барьером для дальнейшего развития двигателестроения. В настоящее время эта проблема решена путем переработки металлов в гранулы методом высокоскоростной кристаллизации и

последующего прессования гранул в изделия. Высокоскоростная кристаллизация происходит в результате быстрого охлаждения расплава, приводящего к образованию микрокристаллов исключительно малых размеров или даже аморфных материалов. При высоких температурах прочность мелкокристаллических и аморфных сплавов в 1,5 раза выше, чем сплавов, полученных по традиционной технологии.

Изучаются перспективы использования керамических деталей в двигателях внутреннего сгорания. Целью такого применения керамики является возможность повышения рабочей температуры в камере сгорания при одновременном снижении массы агрегата, что приводит к повышению коэффициента полезного действия двигателя.

Ужесточение технико-экономических требований к материалам и ограниченность сырьевых ресурсов обусловили рост потребления традиционных материалов на новом технологическом уровне — в сочетании с усиливающими их элементами из более прочных материалов. Такие материалы получили название композиционных. Использование их способствует повышению работоспособности техники, снижению себестоимости продукции, организации гибких производств. Но производство некоторых из них связано с опасностью для здоровья людей на рабочих местах, создает дополнительные проблемы для защиты окружающей среды. Поэтому важной задачей является разработка мероприятий, которые позволят извлечь максимальную выгоду из этого направления материаловедения.

Актуальной остается проблема защиты материалов от химического взаимодействия с окружающей средой. Рост агрессивности окружающей среды приводит к увеличению затрат на ликвидацию последствий изнашивания материалов в машинах. Для принятия мер по стабилизации свойств материалов, для прогнозирования работоспособности механизмов и машин необходимо знать закономерности строения материалов, т. е. происходящие во времени изменения их структуры и свойств.

Задача материаловедения — установление закономерностей взаимосвязи структуры и свойств материалов для того, чтобы целенаправленно воздействовать на них при переработке в из-

делия и эксплуатации, а также для создания материалов с заданным сочетанием свойств и прогнозирования их срока службы.

Материаловедение условно разделяют на теоретическое и прикладное. Теоретическое рассматривает общие закономерности строения материалов и процессов, происходящих в них при внешних воздействиях. Оно базируется на достижениях естественных наук (физики, химии, механики и др.), от развития которых зависят использование материалов в технике и эффективность методов переработки их в изделия.

Задача прикладного материаловедения — определить оптимальные структуры и технологии переработки материалов при изготовлении конструкций, деталей машин и других технических изделий.

Раздел 1

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Глава 1

СТРУКТУРА МАТЕРИАЛОВ

Техническое значение материалов зависит от строения и выражается в их свойствах. Строение материалов характеризует структура.

Структура — совокупность устойчивых связей материала, обеспечивающих его целостность и сохранение основных свойств при внешних и внутренних изменениях.

Структура материалов определяется множеством факторов: строением атомов, ионов, молекул, распределением в них электронов, типом связей между частицами и т. д. В материаловедении принято рассматривать три уровня строения материалов: атом — молекула — фаза.

Атом. Молекула. Химическая связь

Всякое вещество не является чем-то сплошным, а состоит из отдельных очень маленьких частиц. Различия между веществами обусловлены различием между их частицами; частицы одного вещества одинаковы, частицы различных веществ различны. При всех условиях частицы вещества находятся в движении; чем выше температура тела, тем интенсивнее это движение.

Для большинства веществ частицы представляют собой молекулы. Молекулы в свою очередь состоят из атомов.

Молекула — наименьшая частица вещества, обладающая его химическими свойствами.

Атом — наименьшая частица химического элемента, обладающая его химическими свойствами.

В состав молекулы может входить различное число атомов. При этом атомы могут соединяться друг с другом не только в различных соотношениях, но и различным образом. Поэтому при сравнительно небольшом числе химических элементов число различных веществ очень велико.

Атом, вступив во взаимодействие с атомами другого простого вещества, нарушает свое стабильное строение и утрачивает химические свойства исходного простого вещества. Он образует с другими атомами молекулу нового химического вещества с новым комплексом химических и физических свойств. Молекулы сложных веществ состоят из различных атомов, вступивших в химическое взаимодействие. Молекулы простых веществ состоят из одинаковых атомов, также взаимодействующих между собой.

Не во всех случаях частицы, образующие вещество, представляют собой молекулы. Многие вещества в твердом и жидком состоянии, например большинство солей, имеют не молекулярную, а ионную структуру. Ряд простых веществ имеют атомное строение, т. е. состоят не из молекул, а из атомов. К таким простым веществам относятся инертные газы и металлы.

В веществах, имеющих ионное или атомное строение, носителем химических свойств являются не молекулы, а те комбинации ионов и атомов, которые образуют данное вещество.

К образованию устойчивой многоатомной системы (молекулы, молекулярного иона, кристалла) приводит *химическая связь* между атомами, которая может возникать при их взаимодействии.

Атом представляет собой сложную систему из отрицательно заряженных электронов и положительно заряженного ядра. Благодаря взаимодействию электрических полей, создаваемых электронами и ядрами атомов, участвующих в образовании молекулы или кристалла, возникает химическая связь.

Ковалентная химическая связь образуется двумя электронами, причем эта электронная пара принадлежит двум атомам.

Образование химической связи между атомами является результатом взаимопроникновения («перекрывания») электронных облаков, происходящего при сближении взаимодействующих атомов. Вследствие такого взаимопроникновения плотность отрицательного электрического заряда в межъядерном пространстве возрастает. Положительно заряженные ядра атомов притягиваются к области перекрывания электронных облаков, что и приводит к образованию устойчивой молекулы.

Ковалентная связь тем прочнее, чем в большей степени перекрываются взаимодействующие электронные облака.

Если двухатомная молекула состоит из атомов одного элемента, то каждое электронное облако, образованное общей парой электронов и осуществляющее ковалентную связь, распределяется в пространстве симметрично относительно ядер обоих атомов. В подобном случае ковалентная связь называется *неполярной*. Если двухатомная молекула состоит из атомов различных элементов, то общее электронное облако смещено в сторону одного из атомов, так что возникает асимметрия в распределении заряда. В таких случаях ковалентная связь называется *полярной*.

Полярность молекул оказывает заметное влияние на свойства образуемых ими веществ. Вещества, образованные полярными молекулами, обладают, как правило, более высокими температурами плавления и кипения, чем вещества, молекулы которых неполярны.

Ионная связь осуществляется в результате взаимного электростатического притяжения противоположно заряженных ионов.

Во время химических реакций атомы присоединяют электроны атомов других элементов или отдают электроны другим атомам.

Атомы, отдавшие часть электронов, приобретают положительный заряд и становятся положительно заряженными *ионами*. Атомы, присоединившие электроны, превращаются в отрицательно заряженные ионы. Разноименно заряженные ионы удерживаются друг около друга силами электростатического притяжения.

Электрическое поле иона обладает сферической симметрией и одинаково убывает с расстоянием в любом направлении. Поэтому два разноименных иона, притянувшись друг к другу, сохраняют способность электростатически взаимодействовать с другими ионами. Данный ион может координировать вокруг себя еще некоторое число ионов противоположного знака. Ионные молекулы способны соединяться друг с другом.

Вещества с ионной связью в молекуле характеризуются высокими температурами плавления и кипения, в расплавленном состоянии и в растворах они диссоциируют на ионы, вследствие чего проводят электрический ток.

Металлическая связь — это связь, в которой электроны каждого отдельного атома принадлежат всем атомам, находящимся в контакте. При этом валентные электроны способны свободно перемещаться в объеме кристалла. Металлическая связь характерна для металлов, их сплавов и интерметаллических соединений.

Металлическое состояние возникает в комплексе атомов, когда при их сближении внешние электроны теряют связь с отдельными атомами, становятся общими, т. е. коллективизируются, и свободно перемещаются между положительно заряженными и периодически расположенными ионами.

Устойчивость металла, представляющего собой таким образом ионно-электронную систему, определяется электрическим притяжением между положительно заряженными ионами и обобщенными электронами. Такое взаимодействие между ионным скелетом и электронным газом получило название металлической связи.

Сила связи в металлах определяется силами отталкивания и силами притяжения между ионами и электронами и не имеет резко выраженного направленного характера. Атомы в металле располагаются закономерно, образуя правильную кристаллическую решетку, что соответствует минимальной энергии взаимодействия атомов.

Специфическими свойствами металлической связи объясняются характерные свойства металлов. Высокая электропроводность металлов объясняется присутствием в них свободных

электронов, которые перемещаются в потенциальном поле решетки. С повышением температуры усиливаются колебания ионов (атомов), что затрудняет движение электронов, в результате чего электросопротивление возрастает. При низких температурах колебательное движение ионов (атомов) сильно уменьшается и электропроводность возрастает.

Высокая пластичность металлов объясняется периодичностью их атомной структуры и отсутствием направленности металлической связи. При механическом воздействии на твердое тело отдельные слои его кристаллической решетки смещаются относительно друг друга. В кристаллах с атомной структурой это приводит к разрыву ковалентных связей между атомами, принадлежащими различным слоям, и кристалл разрушается. В кристаллах с ионной структурой при взаимном смещении слоев неизбежно создается такое положение, при котором рядом оказываются одноименно заряженные ионы; при этом возникают силы электростатического отталкивания, и кристалл также разрушается. В случае же металла при смещении отдельных слоев его кристаллической решетки происходит лишь некоторое перераспределение электронного газа, связывающего друг с другом атомы металла, но разрыва химических связей не происходит — металл деформируется, не разрушаясь.

Фазовое состояние вещества

Рассматриваемое вещество или совокупность веществ принято называть *системой*. При этом системе противопоставляется внешняя среда — вещества, окружающие систему. Состояние системы, в которое она самопроизвольно приходит через достаточно большой промежуток времени при неизменных внешних условиях, называют *равновесием*.

Различают системы:

— *гомогенные*, которые состоят из одной фазы;

— *гетерогенные*, которые состоят из нескольких фаз.

Фазой называется часть системы, отделенная от других ее частей поверхностью раздела, при переходе через которую свой-

ства изменяются скачком. Фазой называют однородные составные части системы, имеющие одинаковый состав, одно и то же агрегатное состояние и отделенные от остальных частей поверхностями раздела.

Например, однородный чистый металл или сплав является однофазной (гомогенной) системой. Состояние, когда одновременно присутствуют жидкий сплав (металл) и кристаллы, будет представлять двухфазную (гетерогенную) систему.

Системой называют совокупность фаз, находящихся в состоянии равновесия.

Иногда неравновесное (метастабильное) состояние вещества также называют фазой (метастабильной).

При изменении внешних условий (температуры, давления, напряженности электрического поля и др.) вещество может переходить из одной фазы в другую. Такой переход называют *фазовым*. К фазовым переходам относятся испарение и конденсация, плавление и затвердевание и др.

При фазовых переходах скачкообразно изменяется ряд физических свойств вещества (плотность, концентрация компонентов и др.). В зависимости от физических условий, главным образом от температуры и давления, вещества могут существовать в твердом, жидком и газообразном состояниях. Эти состояния вещества называют *агрегатными*.

Газ и жидкость

Газообразное состояние вещества характеризуется сравнительно малыми силами межмолекулярного взаимодействия. Молекулы газов находятся на больших расстояниях друг от друга, поэтому газы имеют и большую сжимаемость. Их молекулы находятся в постоянном хаотическом движении, что объясняет способность газов равномерно заполнять весь предоставленный объем, приобретая объем и форму сосуда, в котором они находятся.

Температура вещества зависит от кинетической энергии его молекул, поэтому, расширяясь, газ охлаждается. Приблизительно

но сильном сжатии газы превращаются в жидкости. Однако при температурах выше некоторой критической сжатие — сжижение газа посредством одного только увеличения давления оказывается невозможным. Поэтому для сжижения газов используют эффект охлаждения при их расширении без теплообмена с окружающей средой.

Жидкости по своим свойствам занимают промежуточное положение между газами и твердыми веществами. Чем выше температура, тем больше свойства жидкостей приближаются к свойствам газов, и наоборот, чем ниже температура, тем больше проявляются те свойства жидкостей, которые приближают их к твердым веществам. Жидкости обычно не имеют собственной формы, а приобретают форму сосуда, в котором находятся; только в очень небольших количествах они способны сохранять форму капли. В отличие от газов жидкости при данной температуре занимают совершенно определенный объем. Это объясняется наличием заметных сил взаимного притяжения отдельных молекул жидкости. Молекулы в жидкостях размещаются значительно плотнее, чем в газах, этим и объясняется очень малая сжимаемость всех жидкостей.

По мере охлаждения движение молекул жидкости замедляется, затем они фиксируются в определенных положениях, и жидкость превращается в твердое тело.

Твердое тело

Твердые вещества построены из молекул, атомов и ионов, прочно связанных между собой. Поэтому они имеют определенный объем и форму.

Частицы твердого вещества не могут свободно перемещаться, они сохраняют взаимное расположение, совершая колебания около центров равновесия, поэтому для изменения объема и формы твердого вещества требуется усилие.

Различают два состояния твердых веществ:

— кристаллическое;

— аморфное.

Кристаллы каждого кристаллического вещества имеют характерную для них форму. Так, кристаллы хлорида натрия имеют форму куба, нитрата калия — призмы, и т. д.

В кристаллических веществах частицы, из которых построены кристаллы, размещены в пространстве в определенном порядке и образуют пространственную решетку. В зависимости от характера частиц, находящихся в узлах пространственной решетки, различают молекулярные, атомные, ионные и металлические решетки.

В узлах *молекулярной решетки* находятся полярные или неполярные молекулы, связанные между собой слабыми силами притяжения. Молекулярную решетку имеет большинство органических веществ, а также ряд неорганических соединений, например вода и аммиак. У веществ с молекулярной решеткой сравнительно невысокая температура плавления.

Атомная решетка характеризуется тем, что в ее узлах размещены атомы, связанные между собой общими электронными парами. Вещества с атомной решеткой (например, алмаз) очень тверды с очень высокой температурой плавления.

В узлах *ионной решетки* расположены положительно и отрицательно заряженные ионы, чередующиеся друг с другом. Ионные кристаллические решетки характерны для большинства солей, оксидов и оснований.

В узлах *металлической решетки* наряду с нейтральными атомами размещаются положительно заряженные ионы данного металла. Между ними свободно перемещаются электроны — так называемый электронный газ. Такое строение металлов обусловливает их общие свойства: металлический блеск, электро- и теплопроводность, ковкость и др.

Кристаллическая решетка разрушается при плавлении, испарении или растворении вещества.

Аморфные вещества представляют собой агрегаты беспорядочно расположенных молекул. В отличие от кристаллических веществ, имеющих вполне определенную температуру плавления, аморфные вещества плавятся в широком диапазоне температур. При нагревании они постепенно размягчаются, начинают растекаться и становятся жидкими. В зависимости от условий, при

которых происходит переход из расплавленного состояния в твердое, одно и то же вещество можно получить как в кристаллическом, так и в аморфном состоянии.

Контрольные вопросы

1. *Что изучает материаловедение?*
2. *Что называется структурой материалов?*
3. *Дайте определение фазы состояния вещества.*
4. *Опишите строение кристаллических веществ.*

Глава 2

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Работоспособность машин и агрегатов в значительной степени зависит от свойств материалов, которые характеризуются конкретными параметрами. Параметры материалов определяют с помощью опытных измерений, используя специальные технические средства. Требования к исследуемым стандартным образцам материалов (например, масса, габаритные размеры, чистота поверхности и др.) устанавливаются соответствующими Государственными стандартами.

Механические свойства

Механические свойства материалов характеризуют возможность их использования в изделиях, эксплуатируемых при воздействии внешних нагрузок. Основными показателями свойств материалов являются:

- прочность;
- твердость;
- триботехнические характеристики, параметры которых существенно зависят от формы, размеров и состояния поверхности образцов, а также режимов испытаний (скорости нагружения, температуры, воздействия окружающих сред и других факторов).

Прочность — свойство материалов сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы под действием

внешних нагрузок. Она обусловлена силами взаимодействия атомных частиц, составляющих материал.

Если при растяжении образца сила внешнего воздействия на пару атомов превосходит силу их притяжения, то атомы будут удаляться друг от друга. Напряжение, возникающее в материале и отвечающее силе межатомного притяжения, соответствует *теоретической прочности*.

При возникновении в материале локального напряжения, превышающего теоретическую прочность произойдет разрыв материала по этому участку. В результате образуется трещина. Рост трещин продолжается, пока в результате их слияния одна из трещин не распространится на все сечение образца и не произойдет его разрушение.

Деформирование — изменение относительного расположения частиц в материале (растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг). Таким образом, *деформация* — изменение формы и размеров изделия или его частей в результате деформирования. Деформацию называют *упругой*, если она исчезает после снятия нагрузки, или *пластичной*, если она не исчезает (необратима).

Реальные материалы обладают технической прочностью, основные характеристики которой удобно рассмотреть с помощью диаграммы растяжения образца из пластичного материала (рис. 1).

Предел упругости — напряжение, при котором остаточные деформации (т. е. деформации, обнаруживаемые при разгрузке образца) достигают значения, установленного техническими условиями. Предел упругости σ_y ограничивает область упругих деформаций материала.

Предел текучести — напряжение, отвечающее нижнему положению площадки текучести на диаграмме (см. рис. 1) для материалов, разрушению которых предшествует заметная пластическая деформация. Прочие материалы характеризуют *условным пределом текучести* — напряжением, при котором остаточная деформация достигает значения, установленного техническими условиями. Обычно остаточная деформация не превышает 0,2 %. Отсюда и обозначение: $\sigma_{0,2}$.

Предел текучести является основной характеристикой прочности пластичных материалов.

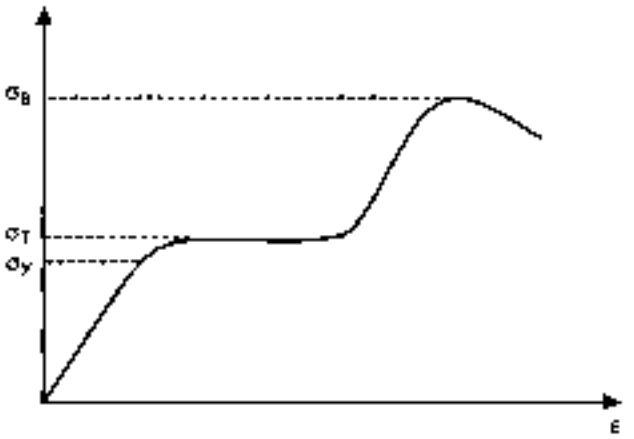


Рис. 1. Зависимость нормального напряжения σ в образце от его относительного удлинения ε при растяжении: σ_y — предел упругости; $\sigma_т$ — предел текучести; $\sigma_в$ — предел прочности (временное сопротивление)

Предел прочности — напряжения или деформации, соответствующие максимальному (в момент разрушения образца) значению нагрузки. Отношение наибольшей силы, *действующей на образец, к исходной площади его поперечного сечения называют временным сопротивлением* (разрушающим напряжением) и обозначают $\sigma_в$.

Предел прочности — основная характеристика механических свойств хрупких материалов, т. е. материалов, которые разрушаются при малых пластических деформациях.

Правила определения характеристик технической прочности материалов при растяжении, сжатии, изгибе, кручении и других видах напряженного состояния установлены государственными стандартами (ГОСТ).

Динамическая прочность — сопротивление материалов динамическим нагрузкам, т. е. нагрузкам, значение, направление и точка приложения которых быстро изменяются во времени.

Усталость материалов — процесс постепенного накопления повреждений под действием переменных напряжений, приводящих к изменению свойств материалов, образованию и разра-

станию трещин. Свойство материалов противостоять усталости называется *выносливостью*.

Ползучесть — непрерывное пластическое деформирование материалов под действием постоянной нагрузки. Любые твердые материалы в той или иной степени подвержены ползучести во всем диапазоне температур эксплуатации. Вредные последствия ползучести материалов особенно проявляются при повышенных температурах.

Причиной неудовлетворительной прочности изделий может быть влияние поверхностных дефектов и напряжений, которые возникают из-за неравномерного распределения нагрузки, обусловленного особенностями конструкции. Поэтому прочность конструкционных элементов (сварочных швов, болтов, валов и т. д.) — *конструкционная прочность* — во многих случаях ниже технической прочности исходных материалов.

Твердость является механической характеристикой материалов, отражающей их прочность, пластичность и свойства поверхностного слоя изделия. Она выражается сопротивлением материала местному пластическому деформированию, возникающему при внедрении в материал более твердого тела – индентора. В зависимости от способа внедрения и свойств индентора твердость материалов оценивают по различным критериям, используя несколько методов:

— вдавливание индентора;
— динамические методы;
— царапанье.

Вдавливание индентора в образец с последующим измерением отпечатка является основным технологическим приемом при оценке твердости материалов. В зависимости от особенностей приложения нагрузки, конструкции инденторов и определения чисел твердости различают методы:

— Бринелля;
— Роквелла;
— Виккерса.

Более подробное описание основных методов определения твердости путем вдавливания индентора дано в разделе 2 (гл. 3) при рассмотрении свойств металлов.

Динамические методы измерения твердости не приводят к возникновению дефектов поверхности изделий. Распространен способ определения твердости в условных единицах по высоте отскакивания легкого ударника (бойка), падающего на поверхность испытуемого материала с определенной высоты. Применяется и метод измерения твердости с помощью ультразвуковых колебаний, основанный на регистрации изменения частоты колебаний измерительной системы в зависимости от твердости исследуемого материала.

Путем царапанья сравнивают твердость исследуемого и эталонного материалов. В качестве эталонов приняты 10 минералов, расположенных в порядке возрастания их твердости: 1 — тальк, 2 — гипс, 3 — кальцит, 4 — флюорит, 5 — апатит, 6 — ортоклаз, 7 — кварц, 8 — топаз, 9 — корунд, 10 — алмаз.

Триботехнические характеристики определяют эффективность применения материалов в узлах трения.

Под *триботехникой* понимают совокупность технических средств, обеспечивающих оптимальное функционирование узлов трения.

Основные триботехнические характеристики материалов:

— износостойкость;

— прирабатываемость;

— коэффициент трения.

Износостойкость — свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения. Отношение величины износа к интервалу времени, в течение которого он возник, или к пути, на котором происходило изнашивание, представляет собой соответственно *скорость изнашивания* и *интенсивность изнашивания*. Износостойкость материалов оценивают величиной, обратной скорости и интенсивности изнашивания.

Прирабатываемость — свойство материала уменьшать силу трения, температуру и интенсивность изнашивания в процессе приработки. Обеспечение износостойкости напрямую связано с предупреждением катастрофического изнашивания и прирабатываемостью.

Коэффициент трения — отношение силы трения двух тел к нормальной силе, прижимающей эти тела друг к другу. Его значения зависят от скорости скольжения, давления и твердости материалов трущихся поверхностей.

Триботехнические характеристики материалов зависят от следующих основных групп факторов, влияющих на работу узлов трения:

— внутренних, определяемых природой материалов;
— внешних, характеризующих вид трения (скольжение, качение);
— режима трения (скорость, нагрузка, температура);
— среды и вида смазочного материала.

Совокупность этих факторов обусловливает вид изнашивания: абразивное, адгезионное, эрозионное, усталостное и др.

Основная причина всех видов изнашивания — работа сил трения, под действием которых происходит многократное деформирование поверхностных слоев трущихся тел, изменение их структуры, и т. д.

Коррозионная стойкость

Коррозия — физико-химический процесс изменения свойств, повреждения и разрушения материалов вследствие перехода их компонентов в соединения с компонентами окружающей среды.

Под *коррозионным повреждением* понимают любой дефект структуры материала, возникший в результате коррозии. Если механические воздействия ускоряют коррозию материалов, а коррозия облегчает их механические разрушения, имеет место *коррозионно-механическое повреждение* материалов.

Электрохимическая коррозия — процесс взаимодействия материалов и окружающей среды посредством электродных реакций. Металлы наиболее подвержены этому виду коррозии вследствие высокой электрической проводимости и химической активности.

Коррозионное повреждение различных участков материала может быть неодинаковым. По характеру разрушения материалов различают *равномерную* и *местную коррозию*. Последняя возникает из-за химической или физической неоднородности среды и материала на отдельных участках поверхности изделия.

С конструктивными особенностями изделий связаны *щелевая* и *контактная коррозии*. Первая протекает внутри или в непосредственной близости от узкого отверстия или зазора в конструкциях. Вторая вызвана контактированием металлов, различающихся по электродному потенциалу.

Для оценки сопротивления материалов коррозии используют следующие параметры:

— *фронт коррозии* — воображаемая поверхность, отделяющая поврежденный материал от неповрежденного;
— *скорость коррозии* — это скорость продвижения ее фронта;
— *техническая скорость коррозии* — ее наибольшая скорость, вероятностью превышения которой нельзя пренебречь в конкретных условиях.

Сопротивление материалов коррозии характеризуют с помощью параметра *коррозионной стойкости* — величины, обратной технической скорости коррозии материала в данной коррозионной системе. Условность этой характеристики заключается в том, что она относится не к материалу, а в целом к коррозионной системе. Коррозионную стойкость материала нельзя изменить, не изменив других параметров коррозионной системы. *Противокоррозионная защита* — это изменение коррозионной системы, ведущее к снижению скорости коррозии материала.

Температурные характеристики

Параметры, отражающие изменение свойств материалов в зависимости от их температуры, являются одними из важнейших характеристик материалов. Стойкость материалов к повышенным температурам и нагрузкам в значительной степени определяет прогресс в автомобилестроении. Свойство материалов стабильно сохранять комплекс эксплуатационных характе-

ристик при низких температурах влияет на работоспособность машин и оборудования, эксплуатируемых в условиях Севера. При осуществлении технологических процессов (литье, ковка, сварка и др.) важное значение имеет температурное изменение деформационно-прочностных характеристик материалов.

Жаростойкость — когда механические параметры материалов сохраняются или незначительно изменяются при высоких температурах.

Жароупорность — свойство материалов противостоять коррозионному воздействию газов при высокой температуре.

В качестве характеристики жаростойкости легкоплавких материалов используют *температуру размягчения*, при которой изделие, нагреваемое с установленной скоростью, под действием постоянного изгибающего момента деформируется на допустимую величину.

Для легкоплавких материалов, подобных воскам, характеристикой жаростойкости служит *температура плавления*.

Жаропрочность — свойство материалов длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при высоких температурах, которые имеют место в двигателях внутреннего сгорания.

Хладноломкость — возрастание хрупкости материалов при понижении температуры. При низких температурах (в технике — от 0 до −50°С) снижается пластичность и вязкость материалов, повышается склонность к хрупкому разрушению. При температурах ниже температуры вязкого разрушения наступает переход к хрупкому и наблюдается резкое снижение ударной вязкости материала.

Температурное расширение материалов регистрируют по изменению размеров и формы при изменении температуры. Количественно тепловое расширение твердых материалов характеризуют *температурным коэффициентом линейного расширения*.

Теплопроводность — перенос энергии от более нагретых участков материала к менее нагретым. Эта величина обусловливает выравнивание температуры изделия.

Коэффициент температуропроводности является мерой теплоизоляционных свойств материала.

Электрические и магнитные свойства

В машиностроении применяют специальные материалы: электроизоляционные, магнитные, проводниковые, полупроводниковые и другие. Для их эффективного применения необходима информация о параметрах электрических, магнитных и других специфических свойств.

Электропроводность — свойство материалов проводить электрический ток, обусловленное наличием в них подвижных заряженных частиц — носителей тока.

Природу электропроводности твердых материалов объясняет зонная теория, согласно которой энергетический спектр электронов состоит из чередующихся зон разрешенных и запрещенных энергий. В нормальном состоянии электроны могут иметь только определенные значения энергии, т. е. занимать разрешенные энергетические уровни (валентную зону). Пустые или частично заполненные более высокие энергетические уровни образуют зону проводимости. Электроны, возбуждаясь, т. е. приобретая добавочную энергию, например при нагревании материалов, могут переходить в зону проводимости. Если валентная зона и зона проводимости перекрываются, то при незначительном возбуждении электроны будут перемещаться от одних атомов к другим. Материалы такого типа — проводники — обладают высокой электропроводностью. Электропроводность диэлектриков очень мала, так как переход заметного числа электронов в зону проводимости — случайное явление, обусловленное, например, дефектами структуры.

Электрическое сопротивление — свойство материалов как проводников противодействовать электрическому току.

Электрическое сопротивление материалов характеризуют *удельным электрическим сопротивлением:*

$$\rho = \frac{RS}{l},$$

где R — электрическое сопротивление; S — площадь поперечного сечения проводника; l — длина проводника.

Все вещества, помещенные во внешнее магнитное поле, намагничиваются. Намагничивание связано с наличием магнитных моментов у частиц вещества.

Характеристикой намагничивания материалов служит *намагниченность*, равная суммарному магнитному моменту атомов в единичном объеме материала.

Величина, характеризующая связь намагниченности с магнитным полем в материале, называется *магнитной восприимчивостью*. В зависимости от знака и значения магнитной восприимчивости материалы делят на:

— диамагнетики;
— парамагнетики;
— ферромагнетики.

Диамагнетизм — свойство материалов намагничиваться во внешнем магнитном поле в направлении, противоположном полю. Диамагнетизм присущ всем веществам.

Диамагнетики обладают отрицательной магнитной восприимчивостью. Во внешнем магнитном поле они намагничиваются против поля. В отсутствие внешнего магнитного поля диамагнетики немагнитны.

Парамагнетики обладают положительной магнитной восприимчивостью. Они слабо намагничиваются по направлению поля, а в отсутствие поля — немагнитны.

Ферромагнетики характеризуются большим значением магнитной восприимчивости и ее зависимостью от напряженности поля и температуры. Обладают самопроизвольной намагничиваемостью даже в отсутствие внешнего намагничивающего поля.

Антиферромагнетики — материалы, намагниченность которых в отсутствие магнитного поля равна нулю.

Магнитная восприимчивость, как правило, существенно зависит от температуры: у парамагнетиков — уменьшается при нагревании, у ферромагнетиков — увеличивается скачком.

Технологические свойства

Технологические свойства материалов характеризуют восприимчивость материалов к технологическим воздействиям при переработке в изделия. Знание этих свойств позволяет рационально осуществлять процессы изготовления изделий.

Основными характеристиками материалов являются:

— обрабатываемость резанием;
— обрабатываемость давлением;
— литейные характеристики;
— свариваемость;
— склонность к короблению при термической обработке и др.

Обрабатываемость резанием характеризуют следующими показателями:

— качеством обработки материалов — шероховатостью обработанной поверхности и точностью размеров;
— стойкостью режущего инструмента;
— сопротивлением резанию — скоростью и силой резания;
— видом стружкообразования.

Обрабатываемость давлением определяют в процессе технологических испытаний (проб) материалов на пластическую деформацию. Методы оценки обрабатываемости давлением зависят от вида материалов и технологии их переработки. Более подробно описание технологических проб дано в разделе 2 (гл. 3).

Обрабатываемость давлением порошковых материалов характеризует их текучесть, уплотняемость и формуемость. Методы определения характеристик порошковых материалов установлены государственными стандартами.

Литейные характеристики материалов — совокупность технологических показателей, характеризующие формирование отливки путем заливки расплавленного материала в литейную форму.

Жидкотекучесть — свойство расплавленного материала заполнять литейную форму.

Литейная усадка — уменьшение объема расплава при переходе из жидкого состояния в твердое. Коэффициент усадки индивидуален для каждого вида материала.

Свариваемость — свойство материала образовывать сварное соединение, работоспособность которого соответствует качеству основного материала, подвергнутого сварке. О свариваемости судят по результатам испытания сварных образцов и характеристикам основного материала в зоне сварного шва.

Контрольные вопросы

1. *Какие существуют основные показатели свойств материалов?*
2. *Какие параметры определяют техническую прочность материалов?*
3. *Что понимают под триботехникой?*
4. *Каким образом улучшить коррозионную стойкость материала?*
5. *Назовите основные технологические характеристики материалов.*

Глава 3

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Номенклатура — перечень названий и терминов, употребляемых в определенной отрасли техники.

Номенклатура технических материалов служит для упорядочения описания огромной массы материалов, используемых для изготовления машин и других технических изделий. Знание номенклатуры материалов и принципов их классификации необходимо для обоснованного выбора материала, технологии его переработки и режимов эксплуатации в составе изделий. Установлены специальные правила изготовления и переработки материалов с соблюдением требований качества, безопасности труда и охраны окружающей среды — *стандарты*. Стандартизация материалов базируется на передовых достижениях техники и направлена на повышение эффективности промышленного производства.

Классификация материалов

Наибольшее значение в технике имеют классификации по структурным и функциональным признакам материалов.

Главным критерием классификации материалов по **структурным признакам** является агрегатное состояние, в зависимости от которого материалы подразделяются на следующие типы:

- твердые материалы;
- жидкости;

— газы;
— плазма.

На рис. 2 приведена классификация твердых веществ по структурному признаку. Ограниченность этой классификации состоит в том, что технические материалы, как правило, неоднородны по структуре и включают несколько фаз. В зависимости от количества фаз и степени неоднородности структуры материалы подразделяются на:

— *простые*, состоящие из одного элемента или соединения и имеющие однородную макроструктуру;
— *композиционные*, состоящие из нескольких фаз и имеющие неоднородную структуру;
— *сплавы*, материалы с однородной макроструктурой, образовавшиеся в результате затвердения расплава химически разнородных веществ.

По **назначению** технические материалы делят на следующие группы.

Конструкционные материалы — твердые материалы, предназначенные для изготовления изделий, подвергаемых механическим нагрузкам. Они должны обладать комплексом механических свойств, обеспечивающих требуемые работоспособность и ресурс изделий при воздействии рабочей среды. К ним предъявляются технологические требования, определяющие наименьшую трудоемкость изготовления изделий, и экономические, касающиеся стоимости и доступности материала.

Конструкционные материалы подразделяют на типы:

— металлы;
— силикаты и керамика;
— полимеры;
— резина;
— древесина;
— композиционные материалы.

Электротехнические материалы характеризуются особыми электрическими и магнитными параметрами и предназначены для изготовления изделий, применяемых для производства, передачи, преобразования и потребления электроэнергии.

Рис. 2. Классификация твердых материалов по структурному признаку

Триботехнические материалы предназначены для применения в узлах трения с целью регулирования параметров трения и изнашивания для обеспечения заданных работоспособности и ресурса этих узлов. Основными видами таких материалов являются:

— *смазочные* — смазки в твердой (графит, тальк), жидкой (моторные, трансмиссионные масла), газообразной (воздух, пары и другие газы) фазах;

— *антифрикционные* — сплавы цветных металлов (баббиты, бронзы и др.), серый чугун, пластмассы (текстолиты, фторопласты и др.), металлокерамические композиционные материалы (бронзографит, железографит и др.), древесина и древесно-слоистые пластики, резины;

— *фрикционные*, имеющие большой коэффициент трения и высокое сопротивление изнашиванию (некоторые виды пластмасс, чугунов и металлокерамики и другие композиционные материалы).

Инструментальные материалы отличаются высокими показателями твердости, износоустойчивости и прочности. Они предназначены для изготовления режущего, мерительного, слесарно-монтажного и другого инструмента (инструментальная сталь и твердые сплавы, алмаз, некоторые виды керамических материалов, многие композиционные материалы).

Рабочие тела — газообразные или жидкие материалы, с помощью которых энергию преобразуют в механическую работу (масла в гидроприводе, воздух в пневматических системах, газообразные продукты сгорания топлива в двигателях внутреннего сгорания).

Топливо — горючие материалы, основной частью которых является углерод, применяемый с целью получения при их сжигании тепловой энергии. По происхождению топливо делят на:

— *природное* (нефть, уголь, природный газ, древесина);

— *искусственное* (кокс, моторные топлива, генераторные газы).

По типу машин, в которых сжигается топливо, его делят на: ракетное, моторное, реакторное, турбинное и т. д.

Технологические материалы — обширная группа вспомогательных материалов, используемых для обеспечения оптимальных

ного протекания технологических процессов переработки основных технологических материалов в изделия или обеспечения нормальной работы машин и механизмов. К ним относятся: клеи и герметики, лакокрасочные материалы; флюсы, припои, сварочные электроды, применяемые при сварке и пайке; смазочно-охлаждающие жидкости; консервационные материалы (смазки, пленки, мастики), обеспечивающие защиту изделий от коррозии; моющие материалы и т. д.

В технике сложилась традиция группировать материалы по наиболее *важным эксплуатационным параметрам*, а именно:

- по электропроводности (проводники, полупроводники и диэлектрики);
- по магнитной восприимчивости (диа-, пара-, ферромагнетики);
- по тепловым характеристикам (теплоизоляционные и огнеупорные);
- по стойкости к воздействию рабочей среды (жаростойкие, кислотоупорные, коррозионностойкие и др.).

Такая классификация не является строгой, но ее термины и понятия приняты в технике и используются в практике машиностроения.

Стандартизация материалов

Стандартизация материалов — это установление и применение правил производства и переработки материалов для достижения их оптимального использования и соблюдения требований безопасности.

Главными целями стандартизации материалов являются повышение эффективности производства, улучшение качества промышленной продукции, установление оптимальной номенклатуры материалов, а также нормальных экологических условий, охраны здоровья населения и безопасности труда работающих. Для достижения этих целей предусматривается установление:

- контрольных характеристик сырья, материалов и полуфабрикатов, обеспечивающих изготовление изделий с высокими показателями качества;

— единой системы показателей качества, методов и средств контроля и испытаний, а также необходимого уровня надежности материалов в зависимости от назначения и условий эксплуатации;
— норм и требований в области производства материалов с целью исключения неэффективных видов, марок и типоразмеров;
— систем классификации материалов и кодирования технико-экономической информации об их свойствах;
— правил по безопасности труда при изготовлении и переработке материалов;
— норм в области охраны труда работающих и улучшения использования природных ресурсов.

Нормативно-технические документы, устанавливающие комплекс норм, правил, требований к качеству материала, подразделяют на следующие типы.

Государственные стандарты (ГОСТ) обязательны к применению всеми предприятиями, организациями и учреждениями во всех отраслях промышленности и хозяйства.

Отраслевые стандарты (ОСТ) обязательны для всех предприятий и организаций данной отрасли, а также отраслей (заказчиков), применяющих ее продукцию.

Технические условия (ТУ) устанавливают общие для одного или нескольких типов (видов, марок) материалов эксплуатационные характеристики, правила приемки, методы контроля качества, требования к маркировке, упаковке, транспортированию и хранению, гарантии изготовителя, требования техники безопасности при использовании материалов.

Контрольные вопросы

1. *Как классифицируются материалы по своим структурным признакам?*
2. *Перечислите нормативно-техническую документацию, устанавливающую комплекс норм, правил и требований к материалам.*

Выбор материалов при подготовке производства

Выбор материалов для производства изделия начинается с анализа *номенклатуры материалов* и подборки имеющих наилучшее сочетание эксплуатационных характеристик. Затем, исходя из технологических свойств отобранных материалов, рассматривают *варианты технологии изготовления изделия* с учетом его массы, размеров, конструктивных и эксплуатационных особенностей. Материалы должны быть доступными и отвечать требованиям экономической эффективности. Работоспособность выполненных из них изделий должна соответствовать затратам труда, приложенного к реализации технических достоинств материалов.

Проектирование изделия. Для организационно-технологической структуры машиностроения характерна взаимосвязь конструкций и технологии изготовления изделия с уровнем организации производства.

Исходным документом для проектирования изделия и выбора материала для него является *техническое задание*, в котором определяются:

- этапы проведения работ;
- необходимая техническая документация;
- показатели качества изделия;
- эксплуатационные требования;
- технико-экономические требования,

исходя из анализа условий нагружения, воздействия окружающей и рабочей среды, конструктивных особенностей, условий надежности, ресурса выработки, технологичности и требуемой работоспособности изделия.

На рис. 3 показана схема выбора материалов на начальном этапе подготовки производства.

На основании технического задания определяется группа материалов, эксплуатационные и технологические свойства которых рассматривают с позиций экономической эффективности использования материала. Так как объем поступающей информации очень велик, целесообразно использовать на данном

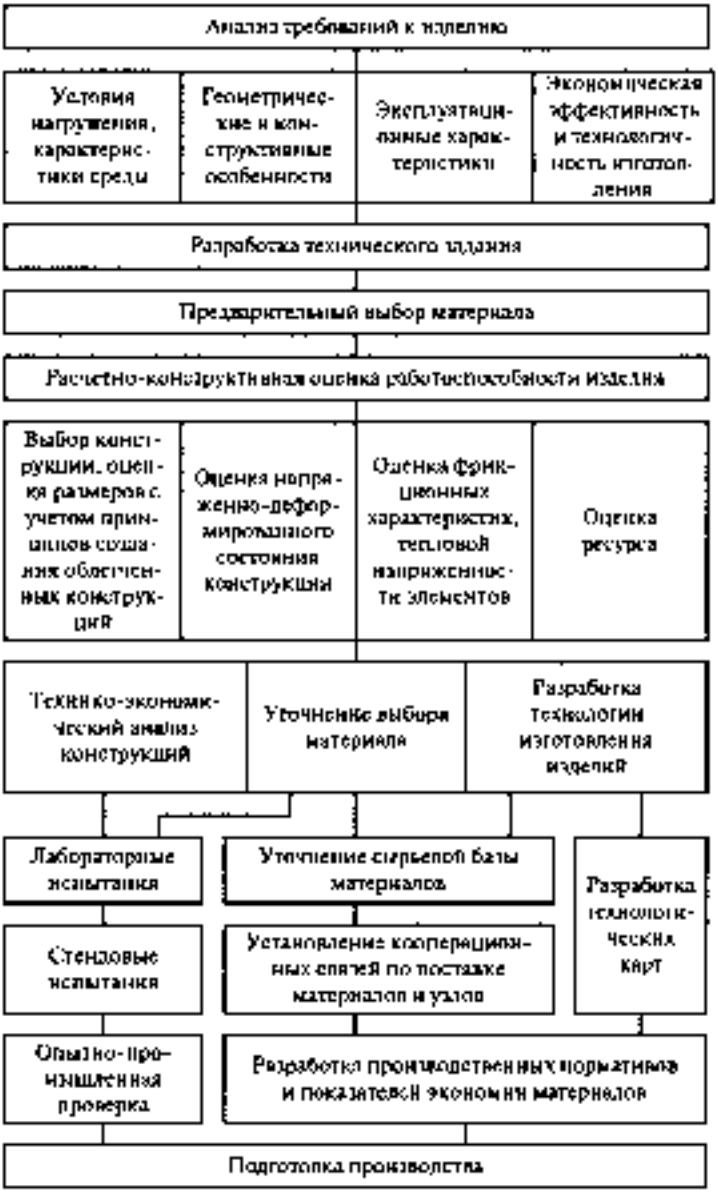


Рис. 3. Схема выбора материала на начальном этапе подготовки производства

этапе компьютерную технику. С ее помощью можно создать эффективно работающие программы выборки требуемого материала из массива банка данных по существующим материалам.

Из основных стандартных подпрограмм, входящих в банк данных, первая направлена на создание и пополнение его массива, а также на выбор из него необходимой марки материала с указанием характеристик. Вторая подпрограмма позволяет осуществлять выборку материалов с параметрами, наиболее близкими к требуемым.

Этап конструирования заключается в том, чтобы реализовать в изделии свойства материала, отвечающие заданным.

По каждому варианту выбранных материалов проводят *оценку работоспособности изделия*, включающую:

— уточнение конструкции с учетом требования уменьшения массы изделий;
— оценку состояния элементов конструкции под нагрузкой;
— характеристики изнашивания и тепловой напряженности элементов конструкции;
— оценку ресурса службы изделия.

Выбор материала уточняют в процессе опытной проверки конструкций изделия, экспериментально определяя в промышленных условиях эксплуатационные параметры изделия для выявления их соответствия техническому заданию, а именно: изнашивание узлов, старение материалов и другие процессы, происходящие в изделии при эксплуатации. Одновременно обеспечивается технологическая подготовка производства, в ходе которой оценивают сырьевую базу материалов, проводят анализ хозяйственных связей и осуществляют поиск партнеров по кооперации.

Один из главных факторов, определяющих выбор материалов при организации производства, — снижение материалоемкости изделий. Статистика свидетельствует, что подавляющее число вопросов, касающихся экономии материалов для технических изделий, решаются на стадии исследования и проектирования продукции.

Технологическая подготовка производства. На этом этапе определяются технология изготовления изделий и парк оборудования, необходимый для переработки материалов в изделие.

Заканчивается этот этап подготовки производства разработкой *технологических карт* — документов, в которых зафиксирован процесс обработки детали и указаны:

— последовательность технологических операций;
— используемые материалы;
— производственное оборудование и технологическая оснастка;
— технологические режимы и время, необходимое для изготовления изделия;
— квалификация работников, и др.

Стоимость и эксплуатационные свойства изделий.

Проверку выбранных конструкторско-технологических решений проводят путем технико-экономического анализа, при котором оценивают соответствие затрат на производство изделия уровню его эксплуатационных свойств. Цель — найти наилучшее соотношение между стоимостью изделия и его потребительскими качествами.

Таким образом, уже на ранней стадии проектирования изделия необходимо учитывать не только его технические возможности, но и целесообразность производства.

Свойства изделий формируются под влиянием технической потребности в них и условий производства. Основными *свойствами изделия* являются:

— технический принцип, конструктивная форма, эксплуатационные параметры;
— технологичность, трудоемкость и другие параметры, зависящие от условий производства;
— ремонтопригодность, условия смазывания и другие эксплуатационные характеристики.

Эти свойства реализуются через *материалы:*

— основные, используемые в производстве;
— полуфабрикаты и комплектующие изделия, поставляемые по кооперации;
— технологические материалы;
— специальные материалы для ремонта изделий и др.

Стоимость изделия определяется количеством труда, затраченного на производство:

— труда, овеществленного в исходных материалах;
— живого труда, под которым понимают целесообразную затрату умственной и физической энергии человека в процессе производства;
— труда, вложенного в проектирование и исследование изделия, его эксплуатацию и поддержание в исправном состоянии.

Опыт массового производства технических изделий свидетельствует, что снижение их стоимости определяется:
— экономией овеществленного труда, т. е. материалов;
— оптимизацией физико-технических принципов работы изделия;
— заменой традиционных материалов более эффективными;
— выбором ресурсосберегающих технологий, и др.

Экономическая эффективность материалов

Для оценки *результативности производства* используют такие понятия, как:
— стоимость;
— цена;
— базовый вариант;
— окупаемость техники;
— технико-экономические показатели, отражающие величину затрат на реализацию преимуществ новой техники.

С точки зрения материаловедения особое место занимает показатель *материалоемкость*, характеризующий расход на производство продукции:
— предметов труда (материалов, топлива, энергии и др.);
— средств труда.

Овеществленные в материале трудовые затраты составляют *стоимость* материала, которая определяется временем, затраченным на изготовление материала при нормальных условиях производства — средних для данного этапа развития уровня техники, квалификации работника и интенсивности труда.

Цена — это денежное выражение стоимости материала. *Оптовая цена* — это цена, по которой производственное предприятие реализует свою продукцию.

Различают оптовую цену предприятия и оптовую цену отрасли промышленности.

Оптовая цена предприятия включает в себя себестоимость, отражающую текущие затраты предприятия на производство и сбыт продукции, и прибыль, дающую возможность предприятию внести установленные платежи в бюджет, образовать фонды экономического стимулирования и покрывать накладные расходы. По оптовым ценам предприятия—изготовители материалов рассчитываются со сбытовыми организациями, а при прямых поставках — с непосредственными потребителями материалов.

Оптовая цена отрасли включает в себя оптовую цену предприятия, налоги и стоимость услуг сбытовых организаций. Например, по оптовым ценам промышленности потребителям поступают нефтепродукты и газ.

В условиях современного экономического развития усиливается стимулирующая роль цен. Система цен призвана стимулировать:

— выпуск новых высокоэффективных материалов и исключение из производственного оборота не пользующихся спросом;
— выгодность мероприятий, направленных на повышение качества материалов;
— совершенствование территориальной структуры производства материалов и рационализацию их перевозок;
— снижение себестоимости материалов до уровня передовых предприятий.

Экономические критерии сравнения материалов. Оценка экономической эффективности материала строится на сопоставлении экономического эффекта от его применения и затрат, сопутствующих получению эффекта.

Различают абсолютную и сравнительную экономическую эффективность. При определении *абсолютной экономической эффективности* материала рассматривают общую величину эффекта от его применения — это прирост прибыли или повышение технического уровня основных и оборотных фондов предприятия.

Сравнительную экономическую эффективность материала, который отличается от материалов с аналогичными техническими-

ми характеристиками более низкими капитальными затратами и себестоимостью, в большинстве случаев нет необходимости рассчитывать. Достаточно сравнить базовый и новый вариант материалов.

При сопоставлении вариантов удобно использовать частные технико-экономические показатели, которые отражают величины отдельных затрат:

— материалоемкость;

— трудоемкость и фондоемкость продукции.

Материалоемкость — это суммарная масса всех материалов, расходуемых на изготовление машины. С помощью этого показателя удобно сравнивать одну и ту же продукцию, выпускаемую разными заводами.

Трудоемкость продукции характеризует затраты рабочего времени на изготовление единицы продукции и отражает эффективность использования рабочей силы.

Фондоемкость характеризует отношение стоимости основных производственных фондов к стоимости продукции, произведенной на предприятии в течение года (к основным фондам относятся здания, сооружения, машины, оборудование, транспортные средства и другие материальные ценности, действующие в течение длительного времени). Повышение эффективности производства достигается более полным использованием (увеличением загрузки) основных фондов.

Производство материалов и экология

Экология изучает закономерности взаимодействия общества и окружающей среды, а также практические проблемы охраны биосферы.

На современном этапе развития общества значительно увеличились производство материалов и объем промышленных отходов, истощаются естественные источники сырья, расширяется применение искусственных материалов при традиционных технологиях их обработки. В биосфере возникают изменения, угрожающие существованию жизни на Земле. Они обусловили появление экологической проблемы с ее техническими, экономическими и социальными аспектами.

Назрела необходимость выработать оптимальное согласование производственных и природных процессов в биосфере как в единой замкнутой системе. Производственная деятельность человека должна гармонично вписываться в структуру природных процессов превращения вещества и преобразования энергии. В настоящее время масштабы промышленного производства выросли настолько, что соблюдение принципов экологической безопасности стало объективной необходимостью.

Разработка месторождений полезных ископаемых, деятельность горно-обогатительных комбинатов и угледобывающей промышленности приводят к нарушению почвенного покрова Земли и уничтожению его плодородного слоя. Однако *основным источником загрязнения почв* являются отходы промышленного производства. На сегодняшний день выход продукта в технологической цепи «сырье — изделие» редко превышает 10 %, а чаще составляет всего 1—3 %. Это свидетельствует о том, что *причина экологического кризиса в несовершенстве технологии получения и переработки материалов*, а не в бурном развитии науки и техники. Почва загрязняется отходами химических заводов, нефтеперерабатывающих предприятий, заводов по производству и переработке пластмасс и резины, газовых и коксохимических заводов, предприятий по переработке древесины, текстильных и бумажных фабрик, предприятий по производству смазочных материалов, моющих средств и др.

Масштабы загрязнения воздуха продуктами сгорания топлива во всех энергетических установках мира характеризуются следующими данными:

Продукты сгорания топлива	Начало XX в.	Конец XX в.
Пылевидные вещества	9—10 млн т/год	Более 100 млн т/год
Сернистый ангидрид	Менее 12 млн т/год	Около 100 млн т/год
Окись углерода, не более	28—30 млн т/год	Около 300 млн т/год
Окись азота	Незначительно	Не более 50 млн т/год

Эксперты Всемирной организации здравоохранения считают, что такое загрязнение воздуха стимулирует распространение заболеваний верхних дыхательных путей и является одной из причин рака легких.

В начале XXI в. *невосполнимые потери пресной воды* вплотную приблизились к ее естественному воспроизводству. Основная причина состоит в том, что современные предприятия промышленности тратят только на технологические нужды не менее 10—12 % объема пресной воды от ее мирового кругооборота. Еще около 30 % воды уходит на разбавление промышленных стоков при их обезвреживании (не всегда и не полностью эффективном). К серьезному загрязнению Мирового океана приводят различные техногенные катастрофы (аварии нефтетанкеров, неконтролируемый вынос в моря огромной массы промышленных стоков, захоронение на дне океана контейнеров с опасными веществами, и др.).

Рост городов обусловил так называемое *бытовое загрязнение* биосферы. Только на одного городского жителя приходится до 1 кг твердых отходов (металл, бумага, пластмасса, стекло) и до 10 л сточных вод в сутки.

Значительную проблему представляет интенсивное загрязнение окружающей среды, связанное с развитием автомобильного транспорта.

Выход из создавшейся ситуации возможен при переходе на *безотходные технологии*, которые обеспечивают получение готового продукта производства без отходов либо с последующей их утилизацией в том же или в других видах производств. Однако в действительности можно реализовать лишь *малоотходные технологии*, позволяющие получить сто с неполностью утилизируемыми отходами.

Внедрение в производство малоотходных технологий связано с расширением областей применения вторичного сырья — таких материалов и изделий, которые после использования (изнашивания) могут применяться повторно в производстве как исходное сырье. В настоящее время созданы основы малоотходных технологий почти для всех отраслей промышленности. Современным экологическим требованиям отвечает такой подход к созданию материалов и изделий, когда одновременно с раз-

работкой изделия предлагается и технология повторного использования продукта после истечения срока его службы. Но в этом случае вредное воздействие на биосферу перемещается в отрасли, где происходит реализация технологий утилизации. Таким образом, малоотходные технологии нельзя считать универсальным средством защиты от техногенных загрязнений.

Более полному достижению экологической чистоты производства способствуют такие меры, как снижение энерго- и материалоемкости продукции, разумное регулирование ее потребления и соответствующее ограничение производства, безвредная утилизация неиспользованных отходов.

Природопользование — теория и практика воздействия человечества на природную среду в процессе его хозяйственной деятельности. Природные ресурсы не беспредельны, поэтому развитие производства необходимо регулировать с учетом запасов сырья и наличия экологически обоснованных технологий его переработки. Объемы потребления материалов должны соответствовать критериям экономической целесообразности производства, что не всегда связано с увеличением его количественных показателей. В России разработаны и реализуются федеральные и региональные программы комплексного использования минерально-сырьевых, земельных, лесных и водных ресурсов. Основные нормативы природопользования закреплены специальными законодательными актами.

Контрольные вопросы

1. *Чем необходимо руководствоваться при выборе материалов?*
2. *Каковы основные свойства изделия?*
3. *Из чего складывается показатель — материалоемкость продукции?*

Раздел 2

ОСНОВЫ ТЕОРИИ СПЛАВОВ

Глава 1

МЕТАЛЛЫ

Металловедение — наука, изучающая зависимость между составом, строением и свойствами металлов и сплавов и закономерности их изменения под воздействием внешних факторов: тепловых, химических, механических, электромагнитных, радиоактивных.

Основные свойства и классификация металлов

Металлы в твердом и отчасти в жидком состоянии обладают рядом характерных свойств:

- высокой тепло- и электропроводностью;
- положительным температурным коэффициентом электросопротивления; с повышением температуры электросопротивление чистых металлов возрастает; большое число металлов обладает сверхпроводимостью, у этих металлов при температуре, близкой к абсолютному нулю, электросопротивление падает скачкообразно практически до нуля;
- термоэлектронной эмиссией, т. е. способностью испускать электроны при нагреве;
- хорошей отражательной способностью; металлы непрозрачны и обладают металлическим блеском;
- повышенной способностью к пластической деформации.

Наличие этих свойств и характеризует так называемое металлическое состояние вещества.

Все металлы и металлические сплавы — тела кристаллические. В узлах кристаллических решеток металлов находятся положительно заряженные ионы, а между ними свободно перемещаются электроны (электронный газ). Характерные свойства металлов объясняются специфическими свойствами металлической связи.

Металлы делятся на две группы:

— *черные*: железо, марганец, хром;

— *цветные* — все остальные.

Цветные металлы по разным признакам делятся на подгруппы:

— *тяжелые*, имеющие плотность больше 5 г/см^3 (цинк, медь, олово, свинец, серебро, золото и др.);

— *легкие*, имеющие плотность до 5 г/см^3 (литий, натрий, магний, калий, алюминий и др.);

— *тугоплавкие*, температура плавления которых выше, чем у железа (ниобий, молибден, вольфрам и др.);

— *легкоплавкие* (цезий, галий, калий, натрий, олово, свинец и др.);

— *редкие* (молибден, вольфрам, ванадий и др.);

— *благородные* (золото, серебро, платина, палладий и др.);

и другие.

Атомно-кристаллическое строение металлов

Под *атомно-кристаллической структурой* понимают взаимное расположение атомов, существующее в кристалле. Кристалл состоит из атомов (ионов), расположенных в определенном порядке, который периодически повторяется в трех измерениях.

В кристаллах существует не только ближний, но и *дальний порядок* размещения атомов, т. е. упорядоченное расположение частиц в кристалле сохраняется на больших участках кристаллов.

Для описания атомно-кристаллической структуры пользуются понятием пространственной или кристаллической решетки.

Кристаллическая решетка представляет собой воображаемую пространственную сетку, в узлах которой располагаются атомы (ионы), образующие металл (твердое кристаллическое тело).

Наименьший объем кристалла, дающий представление об атомной структуре металла во всем объеме, получил название *элементарной кристаллической ячейки.*

Подавляющее число технически важных металлов образуют одну из следующих решеток: кубическую объемно-центрированную, кубическую гранецентрированную и гексагональную (рис. 4).

В кубической объемно-центрированной решетке атомы расположены в углах ячейки и один атом — в центре объема куба (рис. 4, *а*). Кубическую объемно-центрированную решетку имеют металлы: α-железо, хром, ниобий, вольфрам, ванадий и др.

В *кубической гранецентрированной* решетке атомы расположены в углах куба и в центре каждой грани (рис. 4, *б*). Этот тип решетки имеют металлы: γ-железо, никель, медь, золото и др.

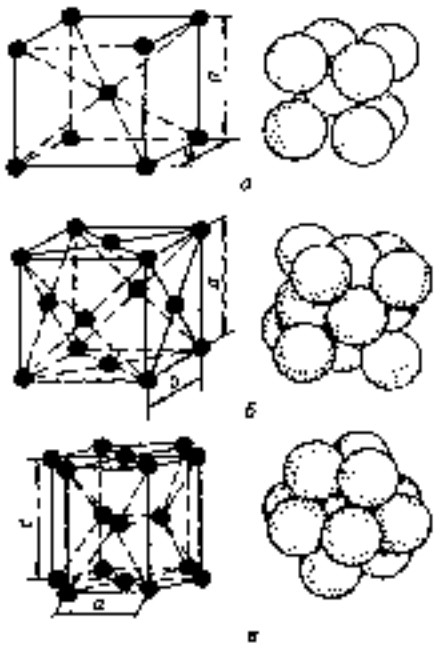


Рис. 4. Кристаллические решетки металлов и схемы упаковки атомов:
а — объемно-центрированная кубическая (о. ц. к.);
б — гранецентрированная кубическая (г. ц. к.);
в — гексагональная плотноупакованная (г. п. у.)

В *гексагональной решетке* (рис. 4, *в*) атомы расположены в углах и центре шестигранных оснований призмы и три атома в средней плоскости призмы. Эту упаковку атомов имеют следующие металлы: магний, цинк и др.

Некоторые металлы имеют тетрагональную решетку.

Размеры кристаллической решетки характеризуются величинами *периодов*, под которыми понимают расстояние между ближайшими параллельными атомными плоскостями, образующими элементарную ячейку (рис. 4). Период решетки измеряется в ангстремах (Å).

Период решетки металлов находится в пределах от 1 до 7 Å.

Процесс кристаллизации расплавов

Переход металла из жидкого состояния в твердое (кристаллическое) называется *кристаллизацией*.

Процесс кристаллизации начинается с образования кристаллических зародышей (центров кристаллизации) и продолжается в процессе роста их числа и размеров.

Процесс кристаллизации может протекать только при переохлаждении металла ниже равновесной температуры кристаллизации $T_{кр}$, при которой жидкая и твердая фазы могут сосуществовать одновременно и притом бесконечно долго. Разность между температурами $T_{кр}$ и $T_{к}$, при которых может протекать процесс кристаллизации, носит название *степени переохлаждения*:

$$\Delta T = T_{кр} - T_{к}.$$

При переохлаждении сплава ниже температуры $T_{кр}$ во многих участках жидкого сплава образуются устойчивые, способные к росту кристаллические зародыши, называемые критическими.

Пока образовавшиеся кристаллы растут свободно, они имеют более или менее правильную геометрическую форму. Однако при столкновении растущих кристаллов их правильная форма нарушается, так как в этих участках рост граней прекращается. Рост продолжается только в тех направлениях, где есть свободный доступ жидкости. В результате растущие кристаллы, имевшие

сначала геометрически правильную форму, после затвердевания получают неправильную внешнюю форму и поэтому называются *кристаллитами* или *зернами*.

Процесс кристаллизации протекает тем быстрее, чем больше образуется зародышей (центров кристаллизации) в единицу времени и в единице объема и чем больше скорость их роста.

Чем больше скорость образования зародышей и меньше скорость их роста, тем меньше размер кристалла, выросшего из одного зародыша (зерно) и, следовательно, более мелкозернистой будет структура металла.

При небольшой степени переохлаждения ΔT (малой скорости охлаждения) число зародышей мало. В этих условиях будет получено крупное зерно. С увеличением степени переохлаждения скорость образования зародышей возрастает и размер зерна в затвердевшем металле уменьшается.

Размер зерна металла сильно влияет на его механические свойства. Эти свойства, особенно вязкость и пластичность, выше, если металл имеет мелкое зерно.

На размер зерна оказывают влияние:

— температура нагрева и разливки жидкого металла;
— химический состав и особенно присутствие в металле посторонних примесей.

В технических металлах всегда присутствует большое количество различных примесей (окислов, неметаллических включений и т. д.), которые облегчают образование зародышей, когда:

— примесь имеет более высокую температуру плавления, чем основной металл;
— кристаллические решетки примеси и основного металла одинаковы и примерно одинаковы параметры решеток.

Чем больше примесей, тем больше центров кристаллизации, тем мельче получается зерно. Такое образование зародышей называют *гетерогенным*.

Для получения мелкого зерна создают искусственные центры кристаллизации. Для этого в жидкий металл вводят специальные примеси, называемые *модификаторами*. Эти примеси, практически не изменяя химического состава сплава, вызыва-

ют при кристаллизации измельчение зерна и в итоге улучшение механических свойств.

Полиморфные превращения в металлах

Многие металлы в зависимости от температуры могут существовать в разных кристаллических формах или, как их еще называют, в разных модификациях. В результате *полиморфного превращения* атомы кристаллического тела, имеющие решетку одного типа, перестраиваются таким образом, что образуется кристаллическая решетка другого типа. Полиморфную модификацию, устойчивую при более низкой температуре, для большинства металлов принято обозначать буквой α, при более высокой — β, затем — γ и т. д.

Переход чистого металла из одной полиморфной модификации в другую в условиях равновесия протекает при постоянной температуре (критической точке) и сопровождается выделением тепла, если превращение идет при охлаждении, и поглощением тепла в случае нагрева.

В результате полиморфного превращения образуются новые кристаллические зерна, имеющие другой размер и форму. Поэтому такое превращение называют перекристаллизацией.

Полиморфные превращения происходят в чистых металлах, в сплавах, в химических соединениях.

Полиморфное превращение сопровождается скачкообразным изменением всех свойств металлов и сплавов: удельного объема, теплоемкости, теплопроводности, электропроводности, магнитных свойств, механических и химических свойств и т. д.

Коррозия металлов

Металлические материалы, приходя в соприкосновение с окружающей их средой, подвергаются с той или иной скоростью разрушению. Металлы вступают в окислительно-восстановительные реакции с веществами, находящимися в окружающей среде, и окисляются. Это является причиной разрушения.

Самопроизвольное разрушение металлических материалов, происходящее под химическим воздействием окружающей среды, называется *коррозией*.

К основным видам коррозии относятся:

— коррозия в газах (газовая коррозия);
— коррозия в растворах электролитов (электрохимическая коррозия).

Коррозия в газах происходит при повышенных температурах, когда конденсация влаги на поверхности металла невозможна. Газовой коррозии подвергаются арматура печей, детали двигателей внутреннего сгорания и т. п. Газовую коррозию претерпевает металл, подвергаемый термической обработке. В результате газовой коррозии на поверхности металла образуются оксиды, сульфиды и другие соединения.

К электрохимической коррозии относятся все случаи коррозии в водных растворах и коррозия металла, находящегося во влажной атмосфере. В результате электрохимической коррозии окисление металла может приводить к образованию нерастворимых продуктов (например, ржавчины) и к переходу металла в раствор в виде ионов.

Скорость коррозии зависит от природы металла и окислителя, от концентрации окислителя, а также от содержания различных примесей в металле и в коррозионной среде — в атмосфере и в растворе.

Для защиты от коррозии применяются разнообразные методы, важнейшими из которых являются:

— применение химически стойких сплавов;
— защита поверхности металла покрытиями;
— обработка коррозионной среды;
— электрохимические методы.

Для изготовления аппаратуры, подвергающейся действию коррозионных газов, применяют жаростойкие сплавы: жаростойкие стали и чугуны, сплавы на основе никеля или кобальта. Из химически стойких сплавов наиболее широко используют нержавеющие и кислотоупорные стали.

Покрытия, применяемые для защиты металлов, подразделяются на:

— металлические, в качестве которых применяют металлы, образующие на своей поверхности защитные пленки (хром, никель, цинк, алюминий и др.);
— неметаллические покрытия лаками, красками, эмалями, фенолоформальдегидными и другими смолами;
— покрытия, создаваемые химической или электрохимической обработкой металла, представляющие собой защитные оксидные или солевые пленки (оксидирование алюминия, фосфатирование стали).

Метод обработки внешней среды состоит в удалении из раствора, в котором эксплуатируется защищаемая деталь, растворенного кислорода или в добавлении к этому раствору веществ, замедляющих коррозию, — *ингибиторов*. Применяется, когда объем жидкости ограничен.

Электрохимические методы применяются в средах, хорошо проводящих электрический ток.

Контрольные вопросы

1. *Назовите основные свойства металлов.*
2. *Что называется кристаллизацией расплавов?*
3. *Назовите основные виды коррозии металлов.*

Глава 2

СПЛАВЫ

Общие сведения о сплавах

Основную долю разнообразных металлических материалов, используемых в технике, составляют сплавы. Чистые металлы в технике не применяют, потому что они характеризуются низким пределом прочности. Путем сплавления или спекания нескольких металлов или металлов с неметаллическими элементами получают сплавы, которые обладают высокой прочностью, пластичностью, хорошо обрабатываются резанием, свариваются и т. д. При этом улучшаются эксплуатационные и технологические свойства металлического материала.

Сплавом называется макроскопически однородная система, состоящая из двух и более химических элементов. Вещества, образующие систему, называют *компонентами*.

Компонентами сплава могут быть металлы (железо, медь, алюминий, никель и т. д.) и неметаллические элементы (углерод). Компонентом могут быть и химические соединения, если в рассматриваемых интервалах температур они не диссоциируют на свои составные части. Количество компонентов, составляющих систему (сплав), может быть различным. Чистый металл — это однокомпонентная система; сплав двух металлов — двухкомпонентная, и т. д.

Выбор базового компонента сплава определяется техническим заданием на его свойства. В зависимости от базового компонента все сплавы делятся на:

— *черные*, основу которых составляет железо (стали, чугуны);

— *цветные*, основу которых составляет любой металл, кроме железа (алюминиевые, медные, никелевые, титановые и др.).

Выбор других компонентов сплава производится на основе оценки взаимодействия элементов периодической системы с базовым компонентом и между собой. Их взаимодействие учитывается и в жидком, и в твердом состояниях, так как сплавление производится при температурах, превышающих температуру плавления базового компонента, а затем сплав, охлаждаясь, кристаллизуется и остывает до температуры окружающей среды. При этом изменяется не только агрегатное состояние системы, но и ее фазовый состав в зависимости от температуры и скорости охлаждения.

Фазы металлических сплавов

В сплавах компоненты могут вступать во взаимодействие с образованием различных фаз. Различают следующие фазы металлических сплавов:

— жидкие растворы;
— твердые растворы;
— химические соединения.

Раствором называется твердая или жидкая гомогенная (однородная) система, состоящая из двух или более компонентов, относительные количества которых могут изменяться в широких пределах.

Жидкие растворы. Большинство металлов растворяются друг в друге в жидком состоянии неограниченно (в любых соотношениях). При этом образуется однородный жидкий раствор, в котором атомы растворимого металла равномерно распределены среди атомов металла-растворителя.

Твердые растворы. В твердом растворе металл-растворитель сохраняет свою кристаллическую решетку, а растворимый элемент (металл или неметалл) распределяется в ней в виде отдельных атомов. Твердые растворы бывают двух типов:

— твердые растворы замещения;
— твердые растворы внедрения.

В *твердых растворах замещения* (рис. 5, *а*) часть атомов кристаллической решетки металла-растворителя замещена атомами другого компонента. Атомы растворенного компонента могут замещать атомы растворителя в любых узлах решетки. Поэтому твердые растворы замещения называют неупорядоченными твердыми растворами.

В *твердых растворах внедрения* (рис. 5, *б*) атомы растворенного компонента внедряются в межатомное пространство кристаллической решетки компонента-растворителя. При этом атомы располагаются в таких пустотах, где для них имеется больше свободного пространства.

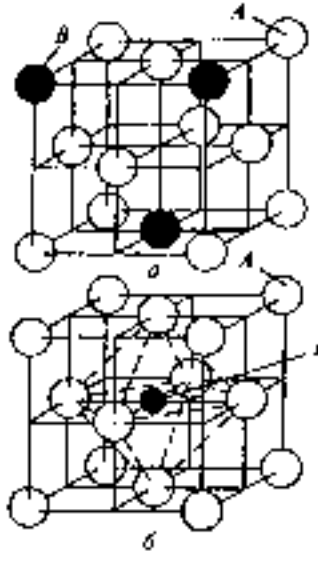


Рис. 5. Схема твердого раствора замещения (*а*) и внедрения (*б*)

Таким образом, твердый раствор, состоящий из двух или нескольких компонентов, имеет один тип решетки и представляет собой одну фазу.

При образовании твердого раствора кристаллическая решетка всегда искажается, так как атомы растворителя и растворенного компонента различны. Искажение кристаллической решет-

ки обусловливает изменение свойств сплавов по сравнению со свойствами исходных компонентов. Образование твердых растворов в сплавах приводит к увеличению их электрического сопротивления, снижает пластичность и вязкость.

Растворенные атомы в твердых растворах обоих типов распределены произвольно. Однако в некоторых случаях при медленном охлаждении сплава или длительной его выдержке при заданных температурах могут образоваться кристаллические решетки с упорядоченным расположением атомов компонентов. Такие растворы называют *упорядоченными* или *сверхструктурами*. Они занимают промежуточное положение между твердыми растворами и химическими соединениями.

Химические соединения. Химические соединения и родственные им фазы постоянного состава в металлических сплавах многообразны. Они имеют характерные особенности, отличающие их от твердых растворов:

- их кристаллическая решетка отличается от кристаллических решеток компонентов, образующих соединение;
- соотношение элементов в них кратно целым числам;
- их свойства отличны от свойств образующих элементов;
- они плавятся при постоянной температуре;
- их образование сопровождается значительным тепловым эффектом.

Диаграммы состояния сплавов

Для определения количества фаз в сплаве, их состава пользуются диаграммами фазового равновесия — диаграммами состояния. **Диаграмма состояния** — графическое изображение фазового состава сплава в состоянии равновесия или близком к нему в зависимости от содержания компонентов в сплаве и от температуры.

Температуры, при которых изменяются строение и свойства (происходят фазовые превращения) металлов и сплавов, называют *критическими точками*. Чистые металлы имеют одну критическую точку, которой является температура плавления (кри-

сталлизации). Они плавятся и затвердевают при одной и той же постоянной температуре. В отличие от чистых металлов сплавы плавятся и кристаллизуются в интервале температур, т. е. они имеют две критические точки — температуру начала кристаллизации (полного расплавления) и температуру полного затвердевания (начала плавления) при охлаждении расплава (при нагревании сплава).

В расплавленном состоянии металлы обычно неограниченно растворимы друг в друге. В твердом состоянии их взаимная растворимость может изменяться.

Рассмотрим *диаграмму состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии* (рис. 6).

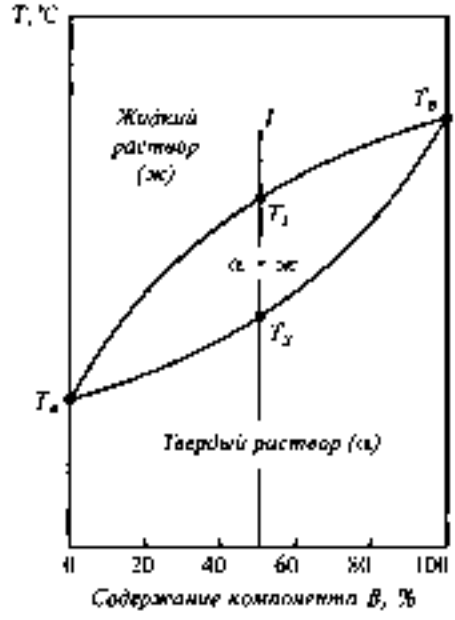


Рис. 6. Диаграмма состояния сплава с неограниченной растворимостью компонентов *A* и *B* в твердом состоянии

Система состоит из двух компонентов *A* и *B*, полностью растворимых друг в друге в твердом состоянии. Ось абсцисс показывает изменение концентрации растворенного компонента *B*

от 0 до 100 %, ось ординат — температуру, при которой рассматривается состояние системы.

Вертикальная линия, соответствующая чистому компоненту *A* (0 % *B*), является диаграммой состояния компонента *A*. При нагревании чистого компонента *A* он находится в твердом состоянии до температуры T_A, которая является температурой плавления (соответственно и температурой кристаллизации). При этой температуре компонент *A* плавится и выше этой критической точки находится в жидком состоянии.

Вертикальная линия, соответствующая чистому компоненту *B* (100 % *B*), является диаграммой состояния компонента B. Критическая точка — температура плавления T_B.

Сплав с содержанием 50 % B (вертикальная линия I), так же как и другие сплавы системы, имеет две критические точки T_S — температура начала плавления (конца кристаллизации) и T_L — температура конца плавления (начала кристаллизации). Интервал температур от T_S до T_L — это интервал плавления (кристаллизации) сплава.

Выше температуры T_L сплав находится в расплавленном состоянии, представляет собой однофазную систему. Линия, соответствующая температурам, выше которых сплав полностью расплавлен, называется линией *ликвидус* (линия $T_A T_L T_B$ на рис. 6).

Ниже температуры T_S сплав представляет собой твердый раствор L, система однофазна. Линия, соответствующая температурам, ниже которых сплав находится полностью в твердом состоянии, называется линией *солидус* (линия $T_A T_S T_B$ на рис. 6).

В интервале кристаллизации $T_L - T_S$ сплав представляет собой двухфазную систему: часть сплава находится в жидком состоянии (расплав), остальной сплав в твердом состоянии (кристаллы *L* — твердого раствора).

Рассмотрим *диаграмму состояния компонентов с ограниченной растворимостью друг в друге в твердом состоянии* (рис. 7).

T_A и T_B — температуры плавления компонентов *A* и *B* соответственно. Линии $T_A C T_B$ — линия ликвидус. Линия $T_A E C D T_B$ — линия солидус.

Предельная растворимость компонента *B* в компоненте *A* соответствует точке *F*, компонента *A* в компоненте *B* — точке *G*.

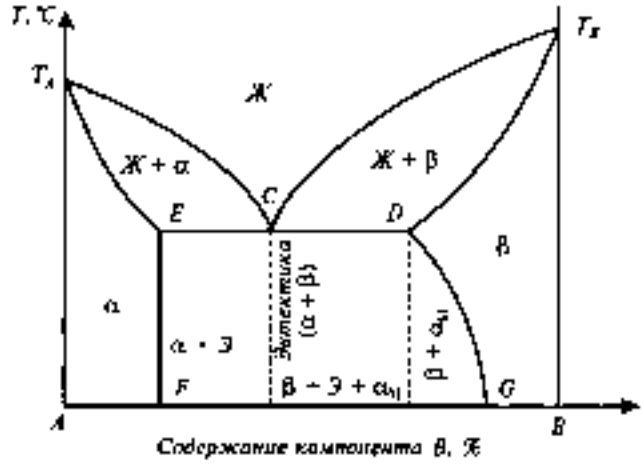


Рис. 7. Диаграмма состояния компонентов с ограниченной растворимостью друг в друге в твердом состоянии

В интервале концентраций, соответствующих точкам *F* и *G*, компоненты *A* и *B* друг в друге нерастворимы. После кристаллизации сплавы таких концентраций представляют собой двухфазную систему, состоящую из α и β — твердых растворов.

Сплав, соответствующий проекции точки *C*, является самым легкоплавким и называется *эвтектическим*. Этот сплав кристаллизуется (плавится) при постоянной температуре, при этом из расплава кристаллизуются одновременно две твердые фазы (α- и β-растворы). Такой процесс называется *эвтектическим превращением*.

Эвтектика — это механическая смесь нескольких твердых фаз, одновременно кристаллизующихся при постоянной температуре из расплава.

Сплавы, относящиеся к области левее точки *C* до точки *E*, называются доэвтектическими, правее точки *C* до точки *D* — заэвтектическими.

Связь между структурой и свойствами сплавов

Между составом и структурой сплава, определяемой типом диаграммы состояния, и свойствами сплава существует определенная зависимость.

При образовании твердого раствора предел прочности, текучести и твердость повышаются при сохранении достаточно высокой пластичности. При образовании твердого раствора внедрения прочность во много раз больше, чем при образовании твердого раствора замещения той же концентрации.

Сочетание повышенной прочности и хорошей пластичности позволяет использовать твердые растворы как основу конструкционных сплавов.

Благодаря высокой пластичности сплавы — твердые растворы легко деформируются, но плохо обрабатываются резанием. Такие сплавы имеют низкие литейные свойства.

При образовании твердых растворов значительно увеличивается электросопротивление. Поэтому сплавы — твердые растворы широко применяют для изготовления проволоки электронагревательных элементов и реостатов.

Для получения высоких литейных свойств концентрация компонентов в сплавах должна превышать их предельную растворимость в твердом состоянии и приближаться к эвтектическому составу. Эвтектические сплавы обладают хорошей жидкотекучестью. Но при появлении в структуре сплава эвтектики сильно снижается его пластичность. Поэтому в деформируемых сплавах содержание компонентов не превышает величины предельной растворимости при эвтектической температуре.

Химические соединения, образующиеся в сплавах, обладают свойствами, резко отличающимися от свойств исходных компонентов. Они имеют очень высокую твердость, но хрупки. Химические соединения имеют большое значение в качестве твердых структурных составляющих в сплавах.

Контрольные вопросы

1. *Что называется сплавом?*
2. *Что называется эвтектикой?*
3. *Какая существует связь между твердым раствором и свойствами сплава?*

Глава 3

СПЛАВЫ ЖЕЛЕЗА С УГЛЕРОДОМ

Сплавы железа с углеродом являются основой так называемых черных сплавов — сталей и чугунов, которые служат важнейшими конструкционными материалами в технике. Структура и свойства любого сплава зависят прежде всего от свойств базового компонента и элементов-добавок, а также от характера их взаимодействия.

Железо и его свойства

Чистое железо — металл серебристо-белого цвета, тугоплавкий. Температура плавления железа 1539°С. Железо имеет две полиморфные модификации, α и γ.

При температурах ниже 910°С железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку. Эту модификацию называют α-железо; α-железо магнитно до температуры 768°С (точка Кюри).

При нагреве железа его объемно-центрированная кубическая решетка при 910°С превращается в гранецентрированную кубическую решетку, α-железо превращается в γ-железо; γ-железо существует при температуре 910—1392°С.

В интервале температур 1392—1539°С существует α-железо, которое обозначают также δ-железо.

Углерод и его свойства

Углерод является неметаллическим элементом. Температура плавления углерода 3500°С. Углерод в природе может существовать в двух полиморфных модификациях: алмаз и графит. Форма алмаза в сплавах не встречается.

В железоуглеродистых сплавах в свободном виде углерод находится в форме графита. Кристаллическая структура графита слоистая. Прочность и пластичность его весьма низкие.

Углерод растворим в железе в жидком и твердом состояниях, может образовывать химическое соединение — цементит, может находиться в свободном виде в форме графита.

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов

Железоуглеродистые сплавы могут иметь следующие структурные составляющие.

Феррит (Ф) — твердый раствор внедрения углерода и других элементов в α-железе. Имеет объемно-центрированную кубическую решетку. Растворимость углерода в феррите очень мала: при комнатной температуре до 0,005 %; наибольшая растворимость 0,02 % при 727°С. Феррит высокопластичен и мягок, хорошо обрабатывается давлением в холодном состоянии.

Аустенит (А) — твердый раствор углерода и других элементов в γ-железе. Существует только при высоких температурах. Предельная растворимость углерода в γ-железе 2,14 % при температуре 1147°С и 0,8 % при 727°С. Эта температура является нижней границей существования аустенита в железоуглеродистых сплавах. Аустенит высокопластичен, но более твердый, чем феррит.

Цементит (Ц) — химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe_3C). В цементите содержится 6,67 % углерода. Температура плавления цементита около 1600°С. Имеет сложную кристаллическую решетку. Самая твердая и хрупкая составляющая железоуглеродистых сплавов. Цементит неустойчив и в

определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита по реакции

$$Fe_3C \rightarrow 3Fe + C.$$

Чем больше цементита в железоуглеродистом сплаве, тем выше его твердость.

Графит — аллотропическая модификация углерода. Графит мягок, прочность его очень низкая. В чугунах и графитизированной стали содержится в виде включений различных форм. Форма графитовых включений влияет на механические и технологические свойства сплава.

Перлит (П) — механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,8 % углерода. Образуется при перекристаллизации (распаде) аустенита при температуре 727°С. Этот распад называется эвтектоидным, а перлит — эвтектоидом. Перлит обладает высокими прочностью, твердостью и повышает механические свойства сплава.

Ледебурит — механическая смесь аустенита и цементита, содержащая 4,3 % углерода. Образуется в результате эвтектического превращения при температуре 1147°С. При температуре 727°С аустенит превращается в перлит, и после охлаждения ледебурит представляет собой смесь перлита с цементитом. Ледебурит имеет высокую твердость и большую хрупкость. Содержится во всех белых чугунах.

Диаграмма состояния железо—цементит

Диаграмма состояния железо — цементит представлена в упрощенном виде на рис. 8. Она показывает фазовый состав и структуру железоуглеродистых сплавов с концентрацией от чистого железа до цементита (6,67 % углерода)

В рассматриваемой системе существуют следующие фазы: жидкий сплав, твердые растворы (феррит и аустенит), химическое соединение (цементит).

Жидкий сплав (Ж.) существует выше линии ликвидус ACD. Цементит Fe_3C (Ц) — вертикальная линия DFKL. Область фер-

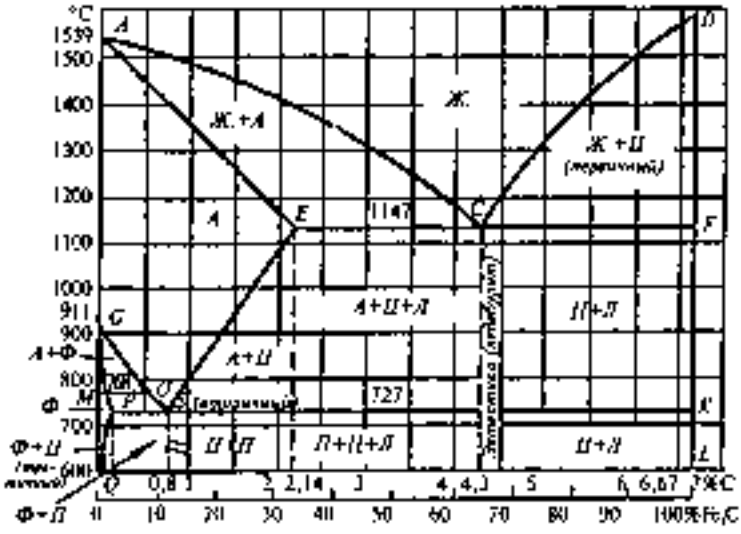


Рис. 8. Диаграмма состояния железо — цементит (в упрощенном виде): *А* — аустенит, *П* — перлит, *Л* — ледебурит, *Ф* — феррит, *Ц* - цементит

рита (Ф) располагается ниже линии GPQ. Область аустенита (А) — AESG.

На диаграмме точка А (1539°С) соответствует температуре плавления железа, а точка D (1600°С) — температуре плавления цементита. Точка G (911°С) — температура полиморфного превращения железа $\alpha \leftrightarrow \gamma$.

Точка E соответствует предельному содержанию углерода в аустените (2,14 % при температуре 1147°С). При понижении температуры растворимость углерода в аустените уменьшается по линии ES. В точке S она составляет 0,8 % при 727°С.

Точка P — предельное содержание углерода в феррите 0,02 % при 727°С. При охлаждении до комнатной температуры растворимость углерода в феррите уменьшается по линии PQ до 0,005 %.

При температуре 1147°С жидкий сплав, содержащий 4,3 % углерода, кристаллизуется с образованием эвтектики (механической смеси двух фаз аустенита и цементита). При этом обра-

зуется структура ледебурита. Точка C на диаграмме — точка эвтектики, линия ECF — линия кристаллизации эвтектики.

При температуре 727°C аустенит, содержащий 0,8 % углерода, распадается на две фазы — цементит и феррит, т. е. происходит эвтектоидное превращение. При этом образуется структура, называемая перлитом. На диаграмме точка S — точка эвтектоида, линия PSK — линия эвтектоидного превращения.

Рассмотрим кристаллизацию сплавов, содержащих различное количество углерода.

Сплавы, содержащие до 2,14 % углерода, кристаллизуются в интервале температур, ограниченном линиями AC (линия ликвидус) и AE (линия солидус). После затвердевания сплавы имеют однофазную структуру — аустенит.

При кристаллизации доэвтектических сплавов, содержащих от 2,14 до 4,3 % C, из жидкой фазы при температурах, соответствующих линии ликвидус AC, сначала выделяются кристаллы аустенита. При температуре 1147°C оставшаяся жидкость, имеющая эвтектический состав (4,3 % C), кристаллизуется, образуя эвтектику ледебурит. После затвердения доэвтектические сплавы состоят из аустенита и ледебурита.

В заэвтектических сплавах, содержащих от 4,3 до 6,67 % C, с понижением температуры до линии ликвидус CD зарождаются и растут кристаллы цементита. При температуре 1147°C жидкость достигает эвтектической концентрации и затвердевает с образованием ледебурита. После затвердевания заэвтектические чугуны состоят из первичного цементита (кристаллизовавшегося из жидкого сплава) и ледебурита.

Эвтектический сплав (4,3 % C) кристаллизуется при постоянной температуре с образованием только эвтектики — ледебурита ($A + Fe_3C$).

После затвердевания железоуглеродистые сплавы претерпевают фазовые и структурные изменения. Это связано с полиморфным превращением железа и с изменением растворимости углерода в аустените и в феррите с понижением температуры.

Сплавы, содержащие до 0,02 % C (точка P), испытывают при охлаждении и при нагреве полиморфное превращение $\gamma \leftrightarrow \alpha$ между линиями GOS и GP. Ниже линии GP существует только

феррит. При дальнейшем медленном охлаждении растворимость углерода в феррите уменьшается (линия PQ), из феррита выделяется цементит (третичный).

Сплавы, содержащие 0,02—0,8 % С, называют доэвтектоидными. Эти сплавы после кристаллизации состоят из аустенита. При температурах ниже линии GOS начинают расти зерна феррита. При достижении 727°С аустенит, не претерпевший превращения, имеет эвтектоидную концентрацию (0,8 % С) и распадается с одновременным выделением из него феррита и цементита, образующих эвтектоидную структуру перлит. После окончательного охлаждения доэвтектоидные сплавы имеют структуру феррит + перлит.

В эвтектоидном сплаве (0,8 % С) при температуре 727°С (точка S) весь аустенит превращается в перлит.

При охлаждении заэвтектоидных сплавов (от 0,8 до 2,14 % С) до температур, соответствующих линии ES, из аустенита выделяется цементит (вторичный) в результате уменьшения растворимости углерода в аустените. При температуре 727°С аустенит, содержащий 0,8 % С, превращается в перлит. После охлаждения заэвтектоидные сплавы состоят из перлита и цементита.

В доэвтектических сплавах вследствие уменьшения растворимости углерода при охлаждении (линия SE) происходит частичный распад аустенита с выделением кристаллов вторичного цементита. При 727°С аустенит эвтектоидного состава превращается в перлит. Структура доэвтектических сплавов после окончательного охлаждения состоит из перлита, вторичного цементита и ледебурита (перлит + цементит).

Эвтектический сплав (4,3 % С) при температурах ниже 727°С состоит только из ледебурита (перлит + цементит).

Заэвтектические сплавы после полного охлаждения состоят из первичного цементита и ледебурита (перлит + цементит).

При температурах ниже 727°С железоуглеродистые сплавы имеют различную структуру, но фазовый состав их одинаков. Они состоят из двух фаз феррита и цементита.

Сплавы железа с углеродом

Согласно диаграмме состояния железо — цементит в результате первичной кристаллизации у сплавов, содержащих менее 2,14 % углерода, получается структура аустенита, а у сплавов, содержащих более 2,14 % углерода, структура состоит из ледебурита с избыточным аустенитом или цементитом.

Это различие в структуре при высоких температурах создает существенное различие в технологических и механических свойствах сплавов. Присутствие эвтектики в высокоуглеродистых сплавах делает их нековкими, но позволяет применять в качестве литейных материалов, так как эти сплавы имеют низкую температуру плавления.

Низкоуглеродистые сплавы не содержат хрупкой структурной составляющей — ледебурита после затвердевания и при высоком нагреве обладают высокой пластичностью. Поэтому они легко деформируются при нормальных и повышенных температурах.

Сплавы, содержащие до 2,14 % углерода, называют *сталями*.

Сплавы, содержащие более 2,14 % углерода, называют *чугунами*.

Различают три группы сталей:

— *эвтектоидные*, содержащие около 0,8 % углерода, структура которых состоит из перлита;

— *доэвтектоидные*, содержащие углерода меньше 0,8 %, структура которых состоит из феррита и перлита;

— *заэвтектоидные*, содержащие углерода от 0,8 до 2,14 %, структура которых состоит из перлита и цементита.

Зависимость свойств железоуглеродистых сплавов от содержания углерода и постоянных примесей

Промышленные стали и чугуны — это многокомпонентные сплавы, в состав которых помимо железа и углерода входят так

называемые постоянные примеси. Постоянными примесями являются марганец, кремний, наличие которых обусловлено технологическими особенностями производства, фосфор и сера, а также газы — кислород, азот, водород, которые невозможно полностью удалить из металла. Содержание углерода и примесей оказывает влияние на свойства железоуглеродистых сплавов.

Углерод оказывает большое влияние на механические свойства сталей. Чем выше содержание углерода в стали, тем больше в ее структуре содержится цементита. Так как цементит обладает высокой твердостью и хрупкостью, увеличение его количества приводит к повышению прочности и твердости стали, к уменьшению ее пластичности и вязкости. С увеличением содержания углерода в стали снижаются плотность, электропроводность, теплопроводность, магнитная проницаемость, растет электросопротивление.

Кремний и марганец считают полезными примесями. При выплавке стали их добавляют для раскисления. Соединяясь с кислородом закиси железа FeO, они в виде окислов переходят в шлак. В результате раскисления свойства стали улучшаются.

Кремний, оставшийся в стали после раскисления, повышает предел текучести, что снижает ее способность к холодной обработке давлением. Поэтому в сталях для штамповки содержание кремния должно быть снижено.

Марганец заметно повышает прочность стали, не снижая ее пластичности, резко уменьшает хрупкость при высоких температурах (красноломкость), удаляя серу из расплава.

Фосфор и сера являются вредными примесями. Фосфор уменьшает пластичность и вязкость стали, увеличивает ее склонность к образованию трещин при низких температурах (хладноломкость). Сера снижает ударную вязкость, пластичность, предел выносливости, свариваемость и коррозионную стойкость сталей. Сера вызывает охрупчивание стали при высоких температурах. Содержание серы и фосфора в стали строго ограничивается.

Кислород, азот, водород отрицательно влияют на свойства сталей.

В машиностроительных чугунах углерод присутствует в виде графита. Графит обладает очень низкими механическими свойствами. Поэтому чем больше графита присутствует в структуре чугуна и чем грубее его включения, тем хуже свойства чугуна. Но он способствует повышению обрабатываемости чугунов резанием, придает им антифрикционные свойства при трении и гасит влияние вибраций и ударов.

Кремний существенно влияет на структуру чугуна, усиливая его графитизацию. Марганец повышает механические свойства чугуна и препятствует их графитизации. Фосфор повышает износостойкость, но охрупчивает чугуны. Сера свойства чугуна ухудшает.

Влияние легирования на свойства железоуглеродистых сплавов

Элементы, специально вводимые в сплав с целью изменения его строения и свойств, называют *легирующими*, а данный сплав — *легированным*.

Легирующие элементы оказывают влияние на полиморфные превращения железа. При введении в сталь никеля и марганца выше определенного содержания область существования γ-фазы расширяется от комнатной температуры до температуры плавления. Такие сплавы называют *аустенитными*. Другие элементы, например, хром, ванадий, молибден, кремний и др., делают феррит устойчивым до температуры плавления. Такие сплавы называют *ферритными*.

Влияние легирующих элементов на свойства сталей проявляется в изменении свойств феррита, аустенита, характера включений карбидной фазы, размера зерна и т. д.

Влияние легирующих элементов на свойства чугунов проявляется в процессе графитизации. Путем легирования изменяются размеры и форма графитовых включений. Наиболее часто чугуны легируют хромом, никелем, медью, титаном для придания им специальных свойств.

Контрольные вопросы

1. *Что называется сплавом железа с углеродом?*
2. *Назовите структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.*
3. *Какой сплав называется чугуном?*
4. *Как подразделяются стали по процентному содержанию углерода?*

Глава 4

СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В зависимости от назначения изделий металлы и сплавы должны обладать определенными свойствами, которые разделяются на четыре группы: физические, химические, механические и технологические.

Физические и химические свойства

К физическим свойствам металлов и сплавов относятся:

- *плотность* — количество вещества, содержащегося в единице объема, г/см^3;
- *температура плавления*, °С — температура, при которой металл полностью переходит из твердого состояния в жидкое;
- *теплопроводность* — это способность тел передавать с той или иной скоростью тепло при нагревании и охлаждении. Единицей измерения теплопроводности служит количество тепла (кал), распространяющегося по единице длины металла через единицу площади его поперечного сечения в единицу времени (кал/Дж);
- *тепловое расширение* — металлы расширяются при нагревании и сжимаются при охлаждении. Изменение линейного размера при нагреве называют линейным расширением; изменение объема тела — объемным расширением;

— *удельная теплоемкость* — это количество тепла, которое необходимо для повышения температуры 1 г вещества на 1°С;
— *электропроводность* — способность металлов проводить электрический ток. Под удельным электрическим сопротивлением ρ понимают сопротивление проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2;
— *способность намагничиваться* — это способность металла создавать собственное магнитное поле либо самостоятельно, либо под действием внешнего магнитного поля.

Химические свойства — это свойства металлов и сплавов, определяющие отношение их к химическим воздействиям различных сред.

Химические воздействия среды проявляются в различных формах: металлы подвергаются атмосферной коррозии; при нагреве в закалочных печах без защитной атмосферы поверхность изделий покрывается окалиной; в кислотах металлы растворяются. Поэтому для практического использования металлов и сплавов необходимо знать их химические свойства.

Например, металлы и сплавы, стойкие против окисления при сильном нагреве (жаростойкие, окалиностойкие) применяются для изготовления различных сильно нагревающихся деталей автомобилей (выпускные коллекторы, глушители).

Деформация и разрушение

Изменение формы твердого тела под действием приложенных к нему внешних сил (нагрузок) называется деформацией.

По характеру действия нагрузки делятся на:
— *статические*, возрастающие медленно от нуля до некоторого максимального значения и далее остающиеся постоянными или меняющимися незначительно;
— *динамические*, возникающие в результате удара, когда действие нагрузки исчисляется долями секунды.

Различают следующие основные виды деформации: сжатие, растяжение, кручение, сдвиг (срез), изгиб (рис. 9).

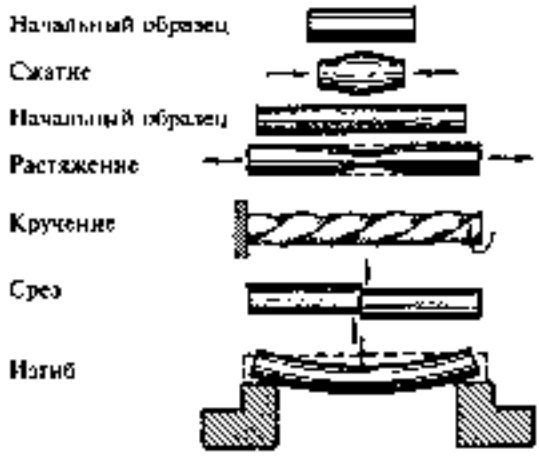


Рис. 9. Основные виды деформации

Сжатие — это деформация, характеризуемая уменьшением объема тела под действием сдавливающих его сил. Сжатию подвергаются строительные колонны, фундаменты машин, амортизационные подушки и др.

Растяжение — это деформация, характеризуемая увеличением длины тела, когда к обоим его концам приложены силы, равнодействующие которых направлены вдоль оси тела. Растяжению подвергаются тросы грузоподъемных машин, крепежные детали, приводные ремни и др.

Кручение — это деформация тела с одним закрепленным концом под действием пары равных, противоположно направленных сил, плоскость которых перпендикулярна к оси тела (например, валы двигателей, коробок передач и др.).

Сдвиг (срез) — когда две силы направлены друг другу навстречу и лежат не на одной прямой, но достаточно близко друг к другу, то при определенной величине сил происходит срез. На срез работают заклепки, стяжные болты и др.

Деформация, предшествующие срезу, называется *сдвигом*. При сдвиге соседние сечения детали смещаются одно относительно другого, оставаясь параллельными и без разрушения изделия.

Изгиб — это деформация тела под действием внешних сил, сопровождающаяся изменением кривизны деформируемого тела. Изгибу подвержены балки грузоподъемных механизмов, валы машин, рессоры и др.

Механические свойства

Основными характеристиками механических свойств металлов являются: прочность, пластичность, твердость, ударная вязкость.

Прочность металла или сплава — это его способность сопротивляться разрушению под действием внешних сил (нагрузок). В зависимости от характера действия этих сил различают прочность на растяжение, сжатие, изгиб и кручение, а также усталость металлов.

Для *испытания на растяжение* из металла или сплава изготовляют образцы, форма и размеры которых установлены ГОСТ. Испытание прочности труб и проволоки производится в натуральном виде, т. е. без изготовления образцов.

Испытание производится на разрывных машинах (рис. 10). В верхний и нижний захваты закрепляют головки образца. Верхний захват закреплен неподвижно, а нижний — с помощью специального механизма медленно опускается, растягивая образец до его разрыва. Развиваемое машиной усилие достигает 50 т.

При испытании на растяжение показатели прочности могут быть получены из диаграммы растяжения, которая автоматически вычерчивается на барабане разрывной машины. Эта диаграмма характеризует поведение материала при разных нагрузках. По горизонтальной линии диаграммы откладывается абсолютное удлинение образца в миллиметрах, а по вертикальной линии — нагрузку в килограммах.

Наибольшая нагрузка P_B, когда образец металла начинает сужаться (образуется шейка), называется нагрузкой предела прочности при растяжении, а напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, называется *пределом прочности при растяжении* — σ_B и определяется как отношение наибольшей на-

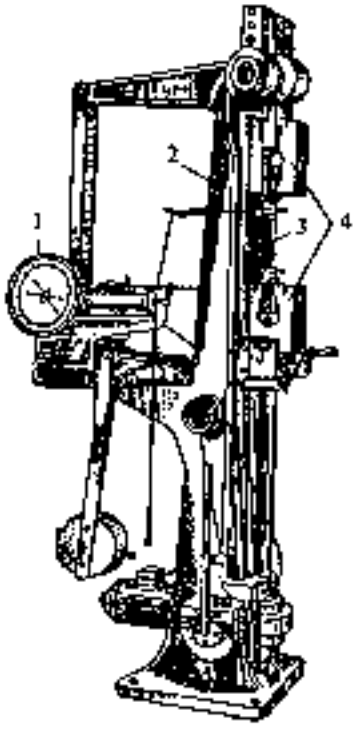


Рис. 10. Разрывная машина:
1 — шкала самописца; 2 — станина; 3 — образец;
4 — верхний и нижний захваты

грузки P_B к первоначальной площади поперечного сечения образца F_0, т. е.

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}, \text{ кг/мм}^2,$$

где P_B — наибольшая нагрузка, при которой образец разрушается, кг; F_0 — площадь поперечного сечения образца до разрыва, мм^2.

Пластичность — это способность металла, не разрушаясь, изменять форму под действием нагрузки и сохранять измененную форму после снятия нагрузки.

Пластичность металлов определяется также при испытании на растяжение. По величине удлинения образца и величине уменьшения его поперечного сечения судят о пластичности материала. Чем больше удлиняется образец, тем более пластичен металл. Пластичные металлы и сплавы хорошо подвергаются обработке давлением.

Характеристикой пластичности металлов является относительное удлинение и относительное сужение.

Относительным удлинением δ называется отношение величины приращения длины образца после разрыва к его первоначальной длине, выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

где l_1 — длина после разрыва, мм; l_0 — первоначальная длина расчетной части образца, мм.

Относительное сужение ψ — отношение уменьшения площади поперечного сечения образца после испытания к первоначальной площади его поперечного сечения, выраженное в процентах:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%,$$

где F_0 — площадь поперечного сечения образца до начала испытания, мм^2; F_1 — площадь поперечного сечения в месте разрыва образца после испытания, мм^2.

Ударная вязкость — это способность металлов и сплавов оказывать сопротивление действию ударных нагрузок.

Для испытания материала на ударную вязкость изготовляют стандартные образцы с надрезом в виде брусков с квадратным сечением и определенных размеров. Испытания проводят на специальном устройстве (маятниковый копер). Маятник с закрепленным грузом, массой 10, 15 и 30 кг поднимают на определенную высоту и закрепляют в этом положении защелкой. После освобождения маятник падает и производит удар по образцу со стороны, противоположной надрезу.

Разрушение образцов имеет различный характер. У хрупких металлов образцы разрушаются без изменения формы, у вязких они подвергаются значительному изгибу в месте излома.

Ударная вязкость является важной характеристикой материала деталей, которые в процессе работы того или иного механизма испытывают кратковременную ударную нагрузку (например, коленчатые валы двигателей, валы и шестерни коробок передач, полуоси колес и др.). Вязкость — свойство, противоположное хрупкости.

Твердость — это свойство металла оказывать сопротивление проникновению в него другого, более твердого тела, не получающего остаточных деформаций.

Твердость тесно связана с такими важными характеристиками металлов и сплавов, как прочность, износоустойчивость.

Есть несколько методов определения твердости (рис. 11), наиболее широкое распространение получили следующие:

— вдавливание шарика из твердой стали (метод Бринелля);
— вдавливание вершины алмазного конуса или стального шарика (метод Роквелла);
— вдавливание вершины алмазной пирамиды (метод Виккерса).

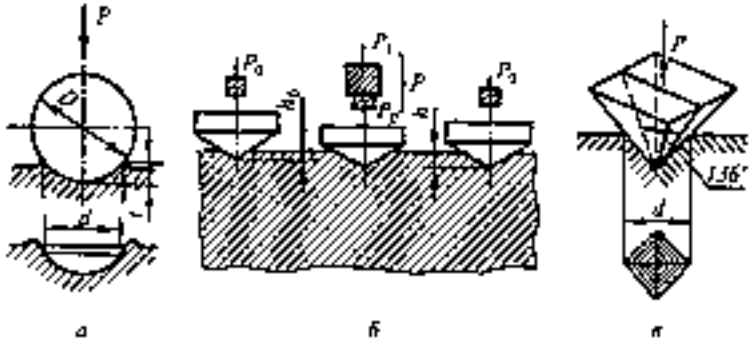


Рис. 11. Определение твердости металлов методами Бринелля (*а*), Роквелла (*б*), Виккерса (*в*)

Метод Бринелля заключается в том, что шарик из закаленной стали под действием нагрузки вдавливается в зачищенную поверхность металла.

Испытание на твердость металла по методу Бринелля проводят на приборе ТБ (рис. 12). Стальной шарик закрепляется в шпинделе прибора. Испытуемый образец ставят на предметный

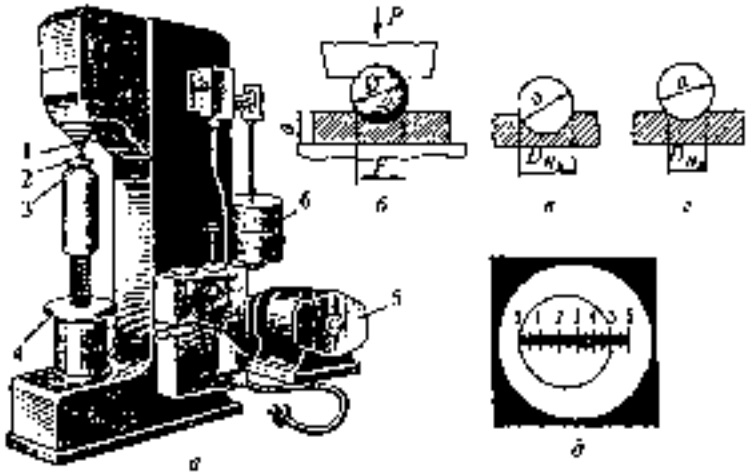


Рис. 12. Определение твердости металла по Бринеллю:
а — общий вид пресса; *б* — схема испытания; *в* — отпечаток на мягком металле; *г* — отпечаток на твердом металле; *д* — проверка результатов испытания: 1 — шпиндель; 2 — испытуемый образец; 3 — столик; 4 — маховик; 5 — электродвигатель; 6 — груз

столик, который подводят к шпинделю вращением маховика. При включении электродвигателя наложенный груз опускается и стальной шарик с помощью рычажной системы вдавливается в образец. Сначала вдавливание производится медленно, затем нагрузка постепенно увеличивается и выдерживается определенное время для получения четких границ отпечатка. Испытуемый образец снимают со столика и измеряют диаметр полученного отпечатка (лунки) при помощи специальной лупы со встроенной шкалой (цена деления 0,1 мм).

Твердость по Бринеллю обозначается буквами HB и определяется как отношение нагрузки P (кг), приходящейся на 1 мм^2 сферической поверхности отпечатка F, по формуле

$$HB = \frac{P}{F}, \text{ кг/мм}^2.$$

Метод Роквелла отличается от метода Бринелля тем, что измеряется не диаметр отпечатка (лунки), а его глубина. Чем больше глубина вдавливания, тем меньше твердость испытуемого образца (рис. 13).

Алмазный конус (или стальной шарик) вдавливается в испытуемый образец под действием двух последовательно прилагае-

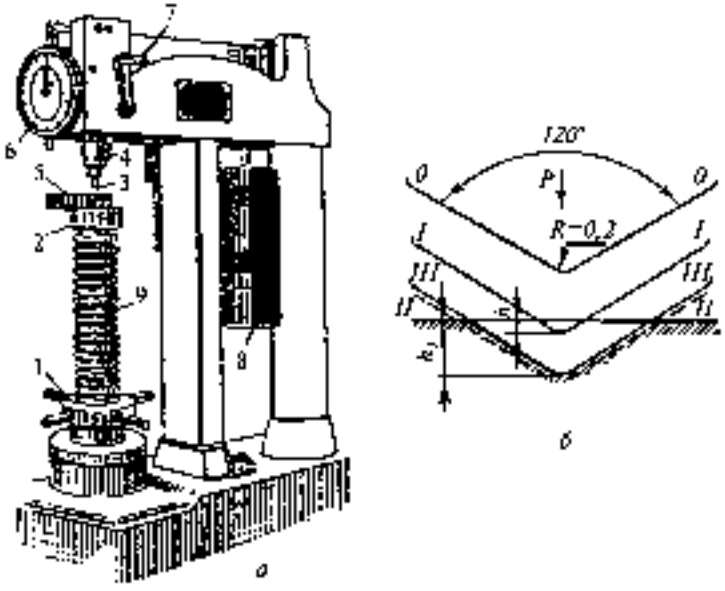


Рис. 13. Определение твердости металла по Роквеллу.

а — прибор *ТР*; *б* — схема испытания вдавливанием алмазного конуса; *1* — чаховик; *2* — столик; *3* — алмазный конус; *4* — наконечник; *5* — испытуемый образец; *6* — индикатор, показывающий величину вдавливания; *7* — ручка; *8* — грузы; *9* — подъемный винт; I–I — углубление конуса под действием предварительной нагрузки, II–II — углубление конуса под действием полной нагрузки, III–III — углубление конуса при уменьшении полной нагрузки до значения предварительной нагрузки

мых нагрузок — предварительной нагрузки, равной 10 кг, а затем полной (предварительная плюс основная) нагрузки 60 кг (шкала А) или 150 кг (шкала С).

На приборе *ТР* величину вдавливания определяют непосредственно по шкалам *A*, *B* и *C* циферблата индикатора (без измерения отпечатка и математических расчетов).

При измерении твердости стандартной нагрузкой 150 кг значение твердости *HR* отсчитывается по шкале *C* индикатора, к обозначению твердости добавляется индекс шкалы, т. е. HR_C.

При измерении твердости тонких образцов или поверхностного слоя металла со стандартной нагрузкой 60 кг отсчет ведется по шкале А; к обозначению твердости добавляется индекс данной шкалы, т. е. HR_A.

При измерении твердости мягких металлов стальным шариком со стандартной нагрузкой 100 кг отсчет ведется по шкале *B* и к обозначению твердости добавляется индекс данной шкалы, т. е. HR_B.

Метод Виккерса применяется для испытания металлов и сплавов высокой твердости, деталей малых сечений и твердых поверхностных слоев, полученных химико-термической обработкой (цементированных, азотированных и др.).

Этот метод дает очень точные показатели и применим к металлам любой твердости. Преимуществом метода Виккерса является возможность испытания тонкого поверхностного слоя металла после различных видов обработки.

Твердость металла определяется отношением нагрузки *P* в кг, создаваемой прибором, к площади отпечатка *F* в мм^2, вычисленной по его диагонали, и обозначается *HV*.

Усталость металлов — это явление их разрушения при многократном нагружении.

Повторение нагрузок значительно уменьшает прочность металлов и сплавов. В технике для характеристики усталости металлов принято понятие **выносливость** — это то наибольшее напряжение, которое выдерживает металл, не разрушаясь после заданного числа переменных нагрузок (циклов).

Причиной разрушения металлов от усталости является охрупчивание, которое объясняется появлением в ослабленных местах металла постепенно увеличивающихся микротрещин.

Усталостному разрушению под действием часто повторяющихся переменных нагрузок подвержены шатуны двигателей, коленчатые валы, поршневые пальцы, поршни и др.

Технологические и эксплуатационные свойства

Под *технологическими свойствами* понимают способность подвергаться различным видам обработки.

Из технологических свойств наибольшее значение имеют обрабатываемость резанием, свариваемость, ковкость, прокаливаемость и литейные свойства.

Обрабатываемость резанием — комплексное свойство металла, характеризующее способность его подвергаться обработке резанием и определяется по скорости, усилию резания и по чистоте обработки. Испытания по скорости и усилию резания производится путем сравнения показателей, полученных при обработке данного металла, с показателями обрабатываемости эталонной марки стали (автоматная сталь марки А12). Показатель чистоты обработанной поверхности определяется измерением высоты неровностей, образующихся на поверхности металла после снятия стружки режущим инструментом.

Свариваемость — способность металла давать доброкачественное соединение при сварке, характеризуется отсутствием трещин и других пороков в швах и прилегающих к шву зонах основного металла. Хорошей свариваемостью обладают конструкционные стали; значительно худшую имеют чугуны, медные и алюминиевые сплавы, которые требуют специальных технологических условий при сварке.

Ковкость — способность металлов и сплавов без разрушения изменять свою форму при обработке давлением. Многие металлы и сплавы обладают достаточно хорошей ковкостью в нагретом состоянии, а в холодном состоянии — латунь и алюминиевые сплавы; пониженной ковкостью характеризуется бронза.

Прокаливаемость — способность стали воспринимать закалку на определенную глубину от поверхности. Она зависит от присутствия легирующих элементов в составе и размеров зерен структуры.

Литейные свойства металлов и сплавов характеризуются жидкотекучестью и усадкой.

Жидкотекучесть — способность металла или сплава в расплавленном состоянии заполнять литейную форму. Для повышения жидкотекучести к ним добавляют легирующие компоненты, например, фосфор — в медные сплавы и чугун, кремний — в алюминиевые сплавы.

Усадкой называется уменьшение объема расплавленного металла или сплава при его затвердевании. На степень усадки влияют многие факторы: химический состав расплава, скорость охлаждения и др.

Эксплуатационные свойства определяются в зависимости от условий работы машин и механизмов специальными испытаниями. Одним из важнейших эксплуатационных свойств является износостойкость.

Износостойкость — свойство материала оказывать сопротивление износу, т. е. изменению размеров и формы вследствие разрушения поверхностного слоя изделия при трении. Испытания материалов на износ производят на образцах в лабораторных условиях, а деталей — в условиях реальной эксплуатации.

К эксплуатационным свойствам также относятся хладностойкость, жаропрочность, антифрикционность и др.

Технологические пробы

Технологическими пробами называются испытания металлов, выполняемые несложными способами и без тщательного измерения наблюдаемых свойств (рис. 14). Испытания имеют целью выявить способность металла к тем или иным деформациям, которым он подвергается при работе или переработке в изделие.

Качество металла по технологическим пробам определяется по внешнему виду после испытания. Отсутствие надрывов, трещин, расслоения или излома свидетельствует о том, что материал выдержал испытания.

Проба на загиб служит для определения способности металла (листов, прутков, профиля и т. п.) принимать заданный по размерам и форме загиб без надрывов и трещин. Различают за-

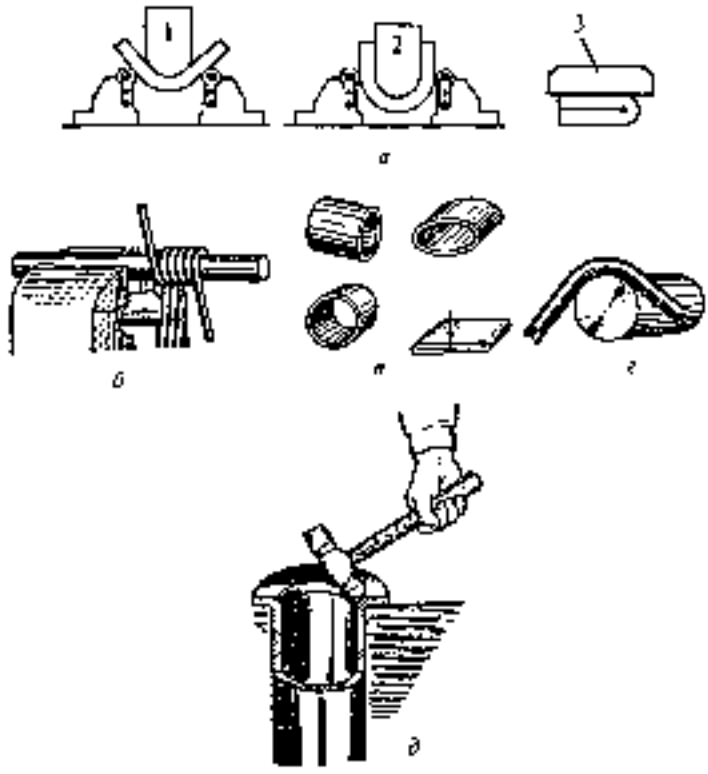


Рис. 14. Технологические пробы:

а — на загиб; *б* — на навивание проволоки, *в* — на сплющивание труб; *г* — на загиб труб; *д* — на бортование труб; 1 — загиб на определенный угол; 2 — загиб до параллельности сторон; 3 — загиб до соприкосновений сторон

гиб на определенный угол, до параллельности загнутых сторон и до соприкосновения их.

Проба на перегиб служит для определения способности металла выдерживать повторный загиб и разгибание; применяется при испытании качества полосового и листового материала, а также проволоки и прутков. Загиб образца производится попеременно в правую и левую сторону на 90°С с равномерной скоростью не более 60 перегибов в минуту до определенного числа перегибов, указанного в технических условиях.

Проба на навивание проволоки позволяет определить способность ее принимать заданную форму. Качество проволоки определяется способностью выдерживать без повреждений навивание плотно прилегающими витками на стержень и развивание в холодном состоянии.

Проба труб на сплющивание производится для определения качества труб по их свойству сплющиваться без повреждений под воздействием пресса, молота или от ударов молотка до предела, установленного техническими условиями. Испытание может производиться в холодном и горячем состоянии.

Проба труб на загиб применяется для определения способности образца трубы загибаться без повреждений вокруг специальной оправки на угол 90°.

Проба труб на бортование имеет целью установить способность их подвергаться деформациям.

Искровая проба металла позволяет в производственных условиях приблизительно определить марку стали. Основан этот метод на том, что при обработке стали абразивными кругами образуются мелкие опилки, которые, сгорая в воздухе, дают сноп искр, отличающихся друг от друга по форме и цвету. Чем больше в стали содержится углерода, тем плотнее и ярче сноп искр. Присутствие в стали вольфрама можно установить по красному цвету искр, наличие хрома — по оранжевому, и т. д. При определенном навыке проба на искру позволяет приблизительно судить о химическом составе стали.

Контрольные вопросы

1. *Какими свойствами характеризуются металлы?*
2. *Какие существуют виды деформации металлов?*
3. *Что является основными характеристиками механических свойств металлов?*
4. *Какие существуют методы определения твердости металлов и сплавов?*
5. *Что называется технологическими свойствами материалов?*
6. *Какие существуют технологические пробы металлов?*

Раздел 3

МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Металлургия (от греч. *металлон* — металл и *эргон* — работа) — в первоначальном значении «искусство выплавлять металлы из руд».

В современном значении — это область науки и техники и отрасль промышленности, охватывающие все процессы получения металлов и сплавов и придания им определенных форм и свойств.

Виды металлургических процессов

Исторически сложилось разделение металлургии на цветную и черную. К *черной металлургии* относят получение сплавов на основе железа — чугун, сталь, ферросплавы. *Цветная металлургия* включает производство большинства остальных металлов. Кроме того, металлургические процессы применяются и для получения неметаллов и полупроводников. А в целом современная металлургия охватывает процессы получения почти всех элементов периодической системы, за исключением галоидов и газов.

Современная черная металлургия состоит из сложного комплекса различных производств (рис. 15). Сначала на горно-обогатительных комбинатах (ГОК) обогащают руду, удаляя часть пустой породы, и получают *концентрат* — продукт с повышенным содержанием железа по сравнению с рудой. Затем на заводах черной металлургии ее обжигают, превращая в *агломерат* или *окатыши*. Из них в *доменных печах* выплавляют *чугун*, который передается в сталеплавильный цех, где его переплавляют в *сталь* в *мартеновских печах*, кислородных *конвертерах* или *электропечах*. Стальные слитки транспортируют в прокатные цехи, где из них делают профильные изделия *(прокат)*: рельсы, балки, листы, трубы, проволоку.

На шахтах добывается каменный уголь, который на коксохимических заводах перерабатывается в *кокс* (коксование — сухая

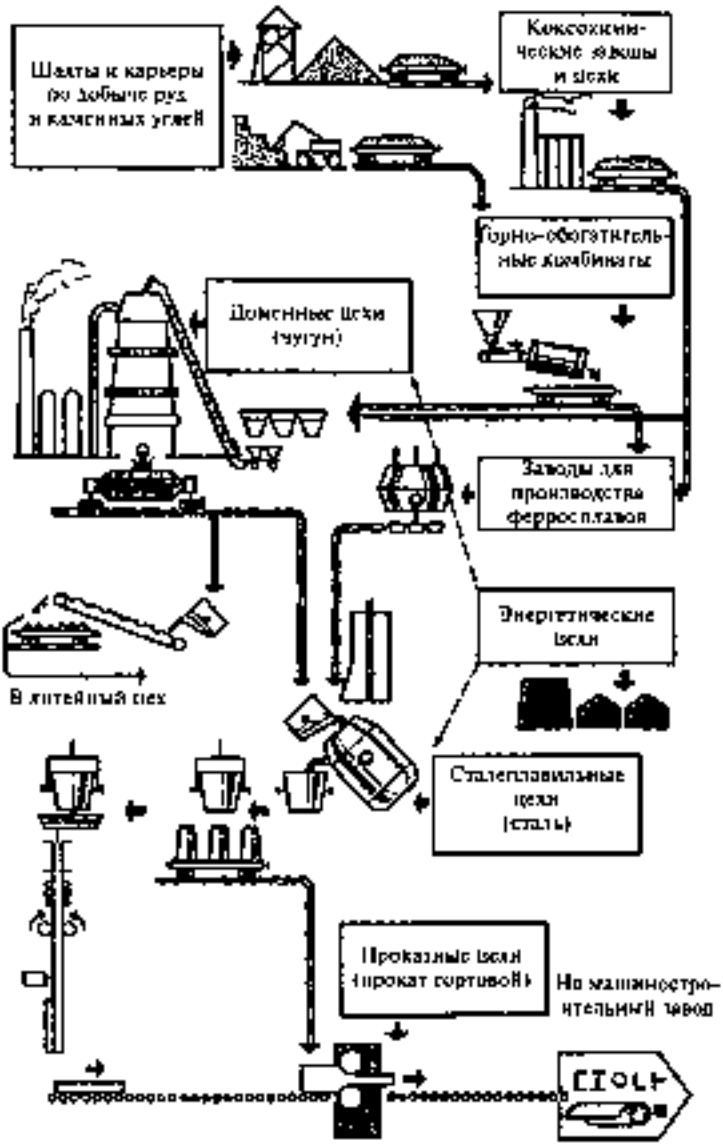


Рис. 15. Схема современного металлургического процесса

перегонка каменного угля при температуре 1000°С без доступа воздуха) — топливо для доменных печей. На рудниках и карьерах добываются *флюсы* для раскисления металлов и *огнеупорные материалы* — для футерования плавильных печей.

Между цехами металлургического производства проложены пути, по которым железнодорожные составы развозят руду, жидкий чугун, стальные слитки и готовый прокат.

Такой же, а в ряде случаев и более сложный путь проходят металлы и на заводах цветной металлургии. Технологический процесс получения некоторых цветных металлов включает десятки операций.

Пирометаллургия (от греч. слова *пир* — огонь), расплавляя руду или металл, сжигает кислород воздуха, засоряет атмосферу продуктами сгорания, тратит много пресной воды на охлаждение стенок плавильных агрегатов. То есть наносит вред окружающей среде. Поэтому разрабатываются новые пути развития металлургии. Это, прежде всего, *прямое восстановление* железа из руды, минуя доменный процесс. Быстрыми темпами развивается электрометаллургия, все более широкое применение находит электроэнергия на всех последующих стадиях обработки металлов.

Глава 1

ЧУГУНЫ

Чугуном называют сплав железа с углеродом и другими элементами, содержащими более 2,14 % С.

В металлургическом производстве чугуны выплавляют в доменных печах. Получаемые чугуны подразделяют на: передельные, специальные (ферросплавы) и литейные. Передельные и специальные чугуны используют для последующей переработки в сталь. Литейные чугуны (около 20 % всего выплавляемого чугуна) отправляют на машиностроительные заводы для использования при изготовлении литых заготовок деталей (литья).

Нелегированный конструкционный чугун для производства отливок в машиностроении имеет следующий химический состав, %: 2,0 — 4,5 С; 1,0 — 3,5 Si; 0,5—1,0 Mn; содержание примесей: не более 0,3 % S; не более 0,15 % P.

Широкое распространение чугуна в промышленности обусловлено оптимальным сочетанием различных свойств: технологических (литейных, обрабатываемости резанием), эксплуатационных (механических и специальных) и технико-экономических показателей.

Производство чугуна

Чугуном называется сплав железа с углеродом, который содержит более 2 % углерода.

Около 80 % всего количества выплавляемого чугуна составляет передельный чугун, являющийся исходным продуктом для

производства стали. Для производства литых деталей на машиностроительных заводах используют литейный чугун (15—20 % от количества производимого чугуна), а в качестве легирующих добавок и раскислителей при выплавке стали — ферросплавы: ферромарганец и ферросилиций (1—2 % от общей выплавки чугуна).

Исходные материалы для доменного производства. Для выплавки чугуна нужны руда, флюсы, топливо и воздух. Основным способом получения чугуна является доменный процесс, протекающий в специальных (доменных) печах, работающих непрерывно до капитального ремонта в течение нескольких лет.

Железными рудами называют горные породы, содержащие железо в таких количествах, при которых ее технически и экономически целесообразно перерабатывать. Пригодность железной руды для доменного процесса зависит от содержания железа, состава пустой породы и концентрации вредных примесей, таких как сера, фосфор и др. Важную роль играет восстановимость руды, которая определяется скоростью восстановления из нее железа и зависит от плотности и пористости руды. Чем плотнее руда, тем хуже ее восстановимость.

Для производства чугуна используют руды следующих основных типов:

— *магнитный железняк* (магнезит) содержит 45—70 % железа в виде оксида Fe_3O_4 и обладает магнитными свойствами. Руда имеет черный цвет, высокую плотность и трудно восстанавливается;

— *красный железняк* (гематит) содержит 50—60 % железа в виде безводного оксида Fe_2O_3. В нем мало вредных примесей серы и фосфора; по сравнению с магнитным железняком легче восстанавливается. Благодаря этому красные железняки относятся к лучшим железным рудам;

— *бурый железняк* (лимонит) содержит около 30 % железа в виде водного оксида $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$. Загрязнен серой и фосфором. Благодаря хорошей восстановимости использование небогатых руд бурого железняка экономически целесообразно;

— *шпатовый железняк* (сидерит) содержит 30—40 % железа в виде карбоната $FeCO_3$. Руда характеризуется хорошей восстановимостью и низким содержанием серы и фосфора.

Перед плавкой руды проходят специальную подготовку, которая повышает производительность доменных печей и уменьшает расход топлива. Основными операциями подготовки руд к плавке являются: дробление, сортировка, обогащение, обжиг и спекание.

Доменные флюсы — это материалы, вводимые в доменную печь для понижения температуры плавления пустой породы железной руды и ошлакования золы топлива, тем самым способствуя отделению от металла пустой породы.

Топливо является не только источником тепла для расплавления руды, но также участвует в химических реакциях, протекающих в доменной печи при выплавке чугуна (например, науглероживание расплава). При производстве чугуна применяется твердое топливо — кокс или древесный уголь.

Кокс получают сухой перегонкой при 1000—1200°С без доступа воздуха некоторых сортов каменных углей, называемых коксующимися. Спекшаяся пористая масса кокса при выделении газов растрескивается и направляется в химическое отделение коксохимического завода, где из него извлекают такие ценные химические продукты, как бензол, аммиак, смолы. После этого коксовый газ используют в качестве топлива.

Кокс обладает значительным сопротивлением раздавливанию и истиранию. Его недостаток — высокое содержание серы (до 2 %) и золы (9—12 %).

Древесный уголь — продукт нагрева древесины при 400—500°С без доступа воздуха. Это наиболее совершенный вид топлива. Содержание золы в древесном угле около 0,8—1,0 %, а сера и фосфор практически отсутствуют. Недостаток древесного угля — малая прочность, что ограничивает высоту доменных печей. Необходимость бережного отношения к лесным богатствам страны позволяет применять древесный уголь только для выплавки высокосортных чугунов.

Одним из наиболее эффективных заменителей кокса для доменного процесса является *природный газ*, применение которого

снижает себестоимость чугуна, так как стоимость газа в десятки раз ниже стоимости кокса.

Доменная печь представляет собой печь шахтного типа (рис. 16). Современные доменные печи имеют общую высоту до 80 метров и объем рабочего пространства до 5600 м^3. Огнеупорная кладка печи находится в стальном кожухе толщиной 30—40 мм. Производительность доменной печи объемом 3000 м^3 составляет более 6000 т чугуна в сутки.

Доменные, как и все шахтные печи, работают по принципу противотока. Сверху сходят шихтовые материалы, а снизу им навстречу движутся газы, образующиеся в процессе горения топлива.

Колошник имеет цилиндрическую форму. Он служит для загрузки шихтовых материалов (смесь руды, топлива и флюсов) и отвода газов. Колошник футерован огнеупорным кирпичом (шамот) и изнутри защищен стальными плитами.

Засыпной аппарат (скиповый подъемник), расположенный над колошником, подает шихтовые материалы в определенной последовательности.

Расширяющаяся книзу коническая *шахта* облегчает опускание материалов и равномерное распределение газов по сечению печи. Огнеупорная кладка (шамотный кирпич) имеет коробчатые холодильники, по которым циркулирует вода для охлаждения кожуха печи. В шахте происходят процессы восстановления оксидов железа и начинается его науглероживание.

Ниже шахты следует самая широкая часть доменной печи — *распар*. Здесь происходит плавление пустой породы и флюсов с образованием шлака, которое заканчивается в *заплечиках*, имеющих форму сужающегося книзу усеченного конуса.

Расположенный ниже заплечиков *горн* имеет цилиндрическую форму. Кладка горна и заплечиков охлаждается плиточными холодильниками с водяным охлаждением. В верхней части горна расположены водоохлаждаемые медные *фурмы*, через которые в доменную печь поступает нагретый воздух. Здесь происходит горение кокса, а в нижней части горна на *лещади* скапливаются жидкий чугун и шлак, которые периодически выпускаются че-

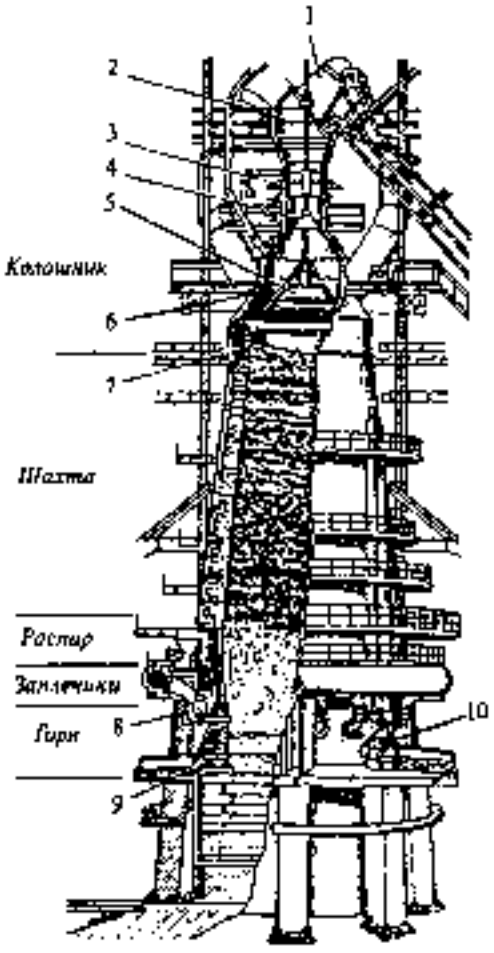


Рис. 16. Доменная печь:

1 — скиповый подъемник; 2 — приемная воронка; 3 — распределитель шихты; 4 — малый конус; 5 — большой конус; 6 — воронка большого конуса; 7 — защитные сегменты; 8 — воздушная фурма, 9 — чугунная летка; 10 — шлаковая летка

рез специальные отверстия — *летки*. *Чугунная летка* расположена на 0,5 м выше лещади, а *шлаковая летка* — на 1,5 м.

Для повышения производительности доменных печей и экономии дефицитного кокса успешно применяются: *дутье* постоянной влажности, повышенное давление под колошником, обогащенное кислородом дутье и вдувание через фурмы природного газа, азота и угольной пыли.

Все основные процессы: подготовка и загрузка шихтовых материалов, подогрев и обогащение дутья, обеспечение нормального хода плавки, выпуск и транспортирование чугуна и шлака — механизированы и автоматизированы.

Доменный процесс. В доменную печь через колошник сверху загружается шихта. В фурмы, расположенные в нижней части печи, вдувается горячий воздух. В доменной печи непрерывно взаимодействуют шихтовые материалы, движущиеся сверху вниз, и продукты горения, движущиеся снизу вверх. Железная руда, соприкасаясь с углеродом кокса и продуктами его сгорания, в частности с окисью углерода (CO), претерпевают процесс восстановления железа, т. е. окислы железа (соединения железа с кислородом) превращаются в железо, которое не содержит кислорода.

Восстановленное железо (свободное от кислорода) соединяется с углеродом, причем температура его плавления понижается, оно плавится и капельками стекает в нижнюю часть печи — горн. Попутно капельки железа, омывая куски кокса, науглероживаются — таким образом получается *чугун*.

Продукты доменного процесса. Продуктами доменного процесса являются чугун, шлак, доменный газ и колошниковая пыль.

Чугун является основным и главным продуктом доменного процесса.

Чугун представляет собой сложный железоуглеродистый сплав, содержащий (%): углерода от 2,14 до 6,67; кремния 0,5—4,25; марганца 0,2 2,0; серы 0,02 0,20; фосфора 0,1—1,20.

Входящие в состав чугуна элементы определяют его структуру и свойства.

Углерод — важнейшая составляющая чугуна. Если углерод находится в сплаве в свободном состоянии в виде графита, то чугун становится мягким и хорошо обрабатывается резанием. Если углерод находится в виде цементита (в химически связанном с железом состоянии — Fe_3C), то чугун имеет высокую твердость и плохо обрабатывается.

Кремний является важнейшей после углерода примесью в чугуне, способствует выделению углерода в виде графита. Улучшает литейные свойства чугуна (жидкотекучесть, усадка) и делает чугун более мягким.

Марганец препятствует графитообразованию, так как связывает углерод в виде цементита. При содержании до 1 % марганец очень полезен, так как повышает прочность чугуна и способствует удалению серы из сплава, образуя сернистый марганец (MnS), который, всплывая, уходит в шлак. Этим частично нейтрализует вредное действие серы.

Сера в чугуне является вредной примесью, так как вызывает явление красноломкости (в отливках в горячем состоянии образуются трещины). Кроме того, присутствие серы ухудшает жидкотекучесть чугуна, вследствие чего он плохо заполняет литейные формы.

Однако некоторое количество серы всегда остается в чугунах. В передельных (белых) чугунах, предназначенных для производства стали, серы не должно быть более 0,08 %, а в литейных (машиностроительных) чугунах — не более 0,06 %.

Фосфор понижает механические свойства чугуна и вызывает хладноломкость, т. е. склонность к образованию трещин в отливках в холодном состоянии. Содержание фосфора в ответственных отливках допускается до 0,1 %, в менее ответственных — до 1,2 %.

Кроме вышеуказанных примесей, в чугун вводят специальные (легирующие) элементы. Такие чугуны называются *легированными*.

Шлак — побочный продукт, является дешевым строительным материалом и идет на изготовление шлакоблоков, бетона, на засыпку дорог. Если шлак в жидком состоянии продуть паром

или воздухом, то можно получить шлаковую вату, являющуюся хорошим теплоизолятором.

Газ колошниковый — важный побочный продукт, высококалорийное топливо. Очищенный газ используется для нагрева воздухонагревателей мартеновских печей, для обогрева коксовых батарей, паровых котлов и других целей.

Пыль колошниковая содержит частицы руды и кокса, выносится из доменных печи с отходящими газами. Задерживается специальными пылеуловителями, затем направляется для спекания и в виде кусков идет обратно в шихту доменных печей.

Литейный чугун выплавляют в вагранках (рис. 17), электродуговых и индукционных печах.

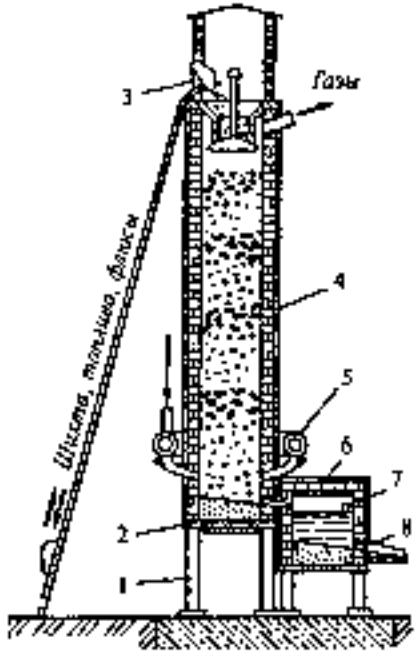


Рис. 17. Схема вагранки:

1 — колонны; 2 — опорная плита; 3 — загрузочное окно; 4 — кожух шахты; 5 — фурма для воздушного дутья; 6 — копильник; 7 — шлаковая летка; 8 — летка для выпуска чугуна

Принцип работы вагранки состоит в следующем. Сначала шахту печи загружают коксом на высоту, примерно равную внутреннему диаметру вагранки (так называемая холостая колоша). Затем загружают металлическую шихту (литейный и передельный чугун, возврат собственного производства, стальной лом, ферросплавы), кокс и флюс, необходимый для наведения шлака. В качестве флюса используют известняк. Холостую колошу кокса разжигают, после чего через фурмы подают воздушное дутье. Металл по мере расплавления собирается в копильнике и периодически выпускается из него. По мере оплавления металлической шихты систематически производят ее подзагрузку, используя скиповый подъемник.

Современные вагранки имеют производительность 2,5—50,0 т/ч жидкого чугуна. Для снижения расхода кокса воздушное дутье подогревают до 350—550°С, используется и кислородное дутье. В промышленности кроме коксовых пламенных вагранок широко применяются коксогазовые и газовые вагранки.

Классификация чугунов

Характерной особенностью чугунов является то, что углерод в сплаве может находиться не только в растворенном и связанном состоянии (в виде химического соединения — цементита Fe_3C), но также в свободном состоянии — в виде графита. При этом *форма выделений графита и структура металлической основы (матрицы) определяют основные типы чугуна и их свойства.*

Классификация чугуна с различной формой графита производится по ГОСТ 3443-87. По специально разработанным шкалам оценивают форму включений графита, их размеры, характер распределения и количество, а также тип металлической основы.

Классификация чугуна осуществляется по следующим признакам:

— *по состоянию углерода* — свободный или связанный;

— *по форме включений графита* — пластинчатый, вермикулярный, шаровидный, хлопьевидный (рис. 18);

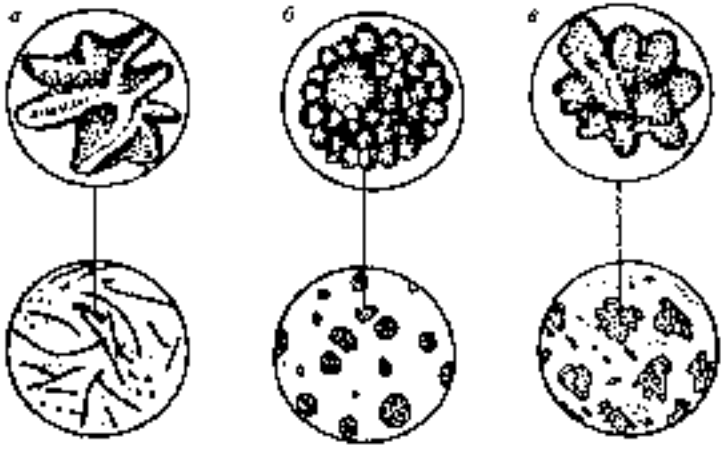


Рис. 18. Структура чугуна с графитом различной формы:
а — пластинчатый графит в сером чугуне; *б* — шаровидный графит в высокопрочном чугуне; *в* — хлопьевидный графит в ковком чугуне

— *по типу структуры металлической основы (матрицы)* — ферритный, перлитный; имеются также чугуны со смешанной структурой: например феррито-перлитные;
— *по химическому составу* — нелегированные чугуны (общего назначения) и легированные чугуны (специального назначения).

В зависимости от формы выделения углерода в чугуне различают:

— *белый чугун*, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита Fe_3C;
— *половинчатый чугун*, в котором основное количество углерода (более 0,8 %) находится в виде цементита;
— *серый чугун*, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита;
— *отбеленный чугун*, в котором основная масса металла имеет структуру серого чугуна, а поверхностный слой — белого;
— *высокопрочный чугун*, в котором графит имеет шаровидную форму;

- *ковкий чугун*, получающийся из белого путем отжига, при котором углерод переходит в свободное состояние в виде хлопьевидного графита.

Структура и свойства чугуна

Микроструктура чугуна состоит из металлической основы (матрицы) и графитных включений. Свойства чугуна определяются свойствами металлической основы и характера включений графита.

Чугуны содержат следующие структурные составляющие (рис. 19):

— графит (Г);
— перлит (П);
— феррит (Ф);
— ледебурит (Л);
— фосфидную эвтектику.

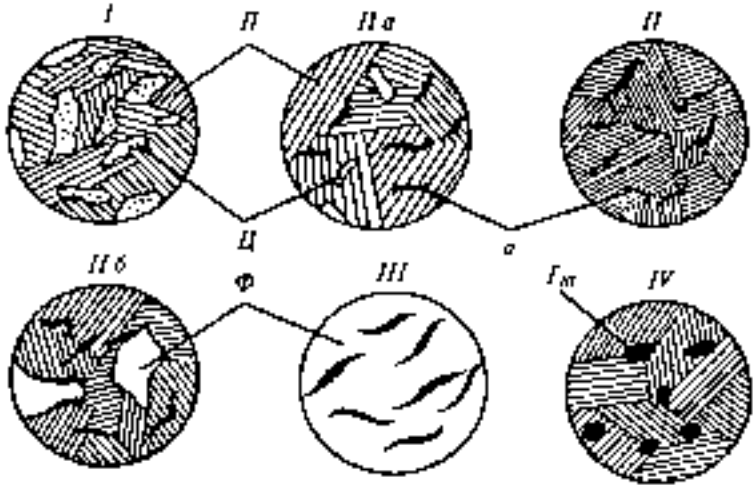


Рис. 19. Микроструктура чугуна:
I — белый; II — серый перлитный; III — серый ферритный, II *а* — половинчатый; II *б* — ферритно-перлитный, IV — высокопрочный

По микроструктуре различают:
— белый чугун I (Ц+Г);
— серый перлитный чугун II (П+Г);
— серый ферритный чугун III (Ф+Г);
— половинчатый чугун II а (П+Ц+Г);
— высокопрочный чугун IV (П+шаровидный графит) (см. рис. 19).

Формирование микроструктуры чугуна зависит от его химического состава и скорости охлаждения (толщины) отливки. Структура металлической основы определяет твердость чугуна.

Углерод в составе чугуна может присутствовать в виде химического соединения — цементит Fe_3C, графита или их смеси. По сравнению с металлической основой графит имеет низкую прочность. Места его залегания можно считать нарушениями сплошности металла. Чугун как бы пронизан включениями графита, ослабляющими его металлическую основу. По мере округления графитных включений (за счет модифицирования чугуна присадками SiCa, FeSi, Al, Mg) их отрицательная роль как надрезов металлической основы снижается и механические свойства чугуна растут.

Например, серый чугун (пластинчатая форма графита) имеет низкие характеристики механических свойств, так как пластинки включений графита играют роль концентраторов напряжений в отливке. Однако серый чугун имеет ряд преимуществ: обладает высокой жидкотекучестью и малой литейной усадкой; включения графита делают стружку ломкой, позволяя легко обрабатывать чугун резанием; благодаря смазывающему действию графита чугун обладает хорошими антифрикционными свойствами; хорошо гасит вибрации и резонансные колебания. Из высокопрочных чугунов (шаровидная форма графита) изготавливают ответственные детали: зубчатые колеса, коленчатые валы.

Кремний способствует графитизации чугуна. Изменяя его содержание и скорость охлаждения отливки, можно получить чугун различной структуры.

Марганец препятствует графитизации и нейтрализует вредное влияние серы, образуя с ней тугоплавкие соединения MnS.

Фосфор не оказывает существенного влияния на процесс графитизации. При повышенном содержании фосфора в структуре чугуна образуются твердые включения фосфидной эвтектики, которая повышает его литейные свойства.

Сера является вредной примесью. Она обусловливает ухудшение литейных свойств чугуна, увеличение усадки, повышение склонности к трещинообразованию, снижение температуры красноломкости чугуна.

Серый чугун

Серый чугун — это сплав системы Fe-C-Si, содержащий в качестве примесей марганец, фосфор, серу. Углерод в серых чугунах преимущественно находится в виде графита пластинчатой формы.

Структура отливок определяется химическим составом чугуна и технологическими особенностями его термообработки. Механические свойства серого чугуна зависят от свойств металлической матрицы, формы и размеров графитовых включений. Свойства металлической матрицы чугунов близки к свойствам стали. Графит, имеющий невысокую прочность, снижает прочность чугуна. Чем меньше графитовых включений и выше их дисперсность, тем больше прочность чугуна. Графитовые включения вызывают уменьшение предела прочности чугуна при растяжении. На прочность при сжатии и твердость чугуна частицы графита практически не оказывают влияния. Свойство графита образовывать смазочные пленки обусловливает снижение коэффициента трения и увеличение износостойкости изделий из серого чугуна. Графит улучшает обрабатываемость резанием.

Согласно ГОСТ 1412-85 серый чугун маркируют буквами «С» — серый и «Ч» — чугун. Число после буквенного обозначения показывает среднее значение предела прочности чугуна при растяжении. Например, СЧ 20 — чугун серый, предел прочности при растяжении 200 МПа.

По свойствам серые чугуны можно условно распределить на следующие группы:

- *ферритные и феррито-перлитные чугуны* (марки СЧ 10, СЧ 15), применяют для изготовления малоответственных ненагруженных деталей машин;
- *перлитные чугуны* (марки СЧ 20, СЧ 25, СЧ 30), используют для изготовления износостойких деталей, эксплуатируемых при больших нагрузках: поршней, цилиндров, блоков двигателей;
- *модифицированные чугуны* (марки СЧ 35, СЧ 40, СЧ 45), получают добавлением перед разливкой в жидкий серый чугун присадок ферросилиция, такие чугуны имеют перлитную металлическую матрицу с небольшим количеством изолированных пластинок графита.

Чугун с вермикулярным графитом отличается от серого чугуна более высокой прочностью, повышенной теплопроводностью. Этот материал перспективен для изготовления ответственных отливок, работающих в условиях теплосмен (блоки двигателей, поршневые кольца).

Вермикулярный графит получают путем обработки расплава серого чугуна лигатурами, содержащими редкоземельные металлы (РЗМ) и силикобарий.

Модифицирование серого чугуна магнием, а затем ферросилицием позволяет получать *магниевый чугун* (СМЧ), обладающий прочностью литой стали и высокими литейными свойствами серого чугуна. Из него изготовляют детали, подвергаемые ударам, воздействию переменных напряжений и интенсивному износу, например коленчатые валы легковых автомобилей.

Высокопрочный чугун

Отличительной особенностью высокопрочного чугуна являются его высокие механические свойства, обусловленные наличием в структуре шаровидного графита, который в меньшей степени, чем пластинчатый графит в сером чугуне, ослабляет рабочее сечение металлической основы и, что еще важнее, не

оказывает на нее сильного надрезающего действия, благодаря чему вокруг включений графита в меньшей степени создаются концентраторы напряжений. Чугун с шаровидным графитом обладает не только высокой прочностью, но и пластичностью.

Получение шаровидного графита в чугуне достигается модифицированием расплава присадками, содержащими Mg, Ca, Ce и другие редкоземельные металлы (РЗМ).

Химический состав и свойства высокопрочных чугунов регламентируются ГОСТ 7293-85 и маркируются буквами «В» - высокопрочный, «Ч» — чугун и числом, обозначающим среднее значение предела прочности чугуна при растяжении. Например, ВЧ 100 — высокопрочный чугун, предел прочности при растяжении 1000 МПа (или 100 кг/мм^2).

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом является наиболее перспективным литейным сплавом, с помощью которого можно успешно решать проблему снижения массы конструкций при сохранении их высокой надежности и долговечности.

Высокопрочный чугун используют для изготовления ответственных деталей в автомобилестроении (коленчатые валы, зубчатые колеса, цилиндры и др.).

Белый и ковкий чугун

Белые чугуны характеризуются тем, что у них весь углерод находится в химически связанном состоянии — в виде цементита. Излом такого чугуна имеет матово-белый цвет. Наличие большого количества цементита придает белому чугуну высокие твердость, хрупкость и очень плохую обрабатываемость режущим инструментом.

Высокая твердость белого чугуна обеспечивает его высокую износостойкость, в том числе и при воздействии абразивных сред. Это свойство белых чугунов учитывается при изготовлении из них поршневых колец. Однако белый чугун применяют главным образом для отливки деталей с последующим отжигом на ковкий чугун.

Ковкий чугун получают путем отжига белого чугуна определенного химического состава, отличающегося пониженным содержанием графитизирующих элементов (2,4—2,9 % C и 1,0—1,6 % Si), так как в литом состоянии необходимо получить полностью отбеленный чугун по всему сечению отливки, что обеспечивает формирование хлопьевидного графита в процессе отжига (рис. 20).

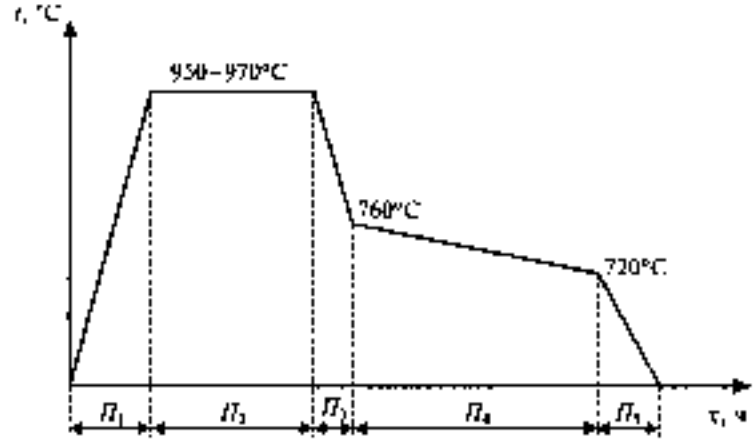


Рис. 20. Режим отжига белого чугуна на ковкий

Механические свойства и рекомендуемый химический состав ковкого чугуна регламентирует ГОСТ 1215-79. Ковкие чугуны маркируют буквами «К» — ковкий, «Ч» — чугун и цифрами. Первая группа цифр показывает предел прочности чугуна при растяжении, вторая — относительное его удлинение при разрыве. Например, КЧ 33-8 означает: ковкий чугун с пределом прочности при растяжении 33 кг/мм^2 (330 МПа) и относительным удлинением при разрыве 8 %.

Различают черносердечный ковкий чугун, получаемый в результате графитизирующего отжига, и белосердечный, получаемый путем обезуглероживающего отжига в окислительной среде. В России применяют только черносердечный ковкий чугун.

Матрица чугуна может быть перлитной, ферритной, или перлитно-ферритной в зависимости от режима отжига.

Для ускорения процесса отжига КЧ используют различные приемы: повышают температуру выдержки в период $П_2$, модифицируют и микролегируют чугун присадками алюминия, бора, титана или висмута. Все эти приемы способствуют увеличению числа центров кристаллизации, снижению устойчивости цементита.

Ковкий чугун используют для изготовления мелких и средних тонкостенных отливок ответственного назначения, работающих в условиях динамических знакопеременных нагрузок (детали приводных механизмов, коробок передач, тормозных колодок, шестерен, ступиц и т. п.). Однако ковкий чугун — малоперспективный материал из-за сложной технологии получения и длительности производственного цикла изготовления деталей из него.

Легированные чугуны

В зависимости от назначения различают износостойкие, антифрикционные, жаростойкие и коррозионно-стойкие легированные чугуны.

Химический состав, механические свойства при нормальных температурах и рекомендуемые виды термической обработки легированных чугунов регламентируются ГОСТ 7769-82. В обозначении марок легированных чугунов буквы и цифры, соответствующие содержанию легирующих элементов, те же, что и в марках стали.

Износостойкие чугуны, легированные никелем (до 5 %) и хромом (0,8 %), применяют для изготовления деталей, работающих в абразивных средах. Чугуны (до 0,6 % Cr и 2,5 % Ni) с добавлением титана, меди, ванадия, молибдена обладают повышенной износостойкостью в условиях трения без смазочного материала. Их используют для изготовления тормозных барабанов автомобилей, дисков сцепления, гильз цилиндров и др.

Жаростойкие легированные чугуны ЧХ 2, ЧХ 3 применяют для изготовления деталей контактных аппаратов химического оборудования, турбокомпрессоров, эксплуатируемых при температуре 600°С (ЧХ 2) и 700°С (ЧХ 3).

Жаропрочные легированные чугуны ЧНМШ, ЧНМГ7Х2Ш с шаровидным графитом работоспособны при температурах 500—600°С и применяются для изготовления деталей дизелей, компрессоров и др.

Коррозионно-стойкие легированные чугуны марок ЧХ 1, ЧНХТ, ЧНХМД, Ч2Х (низколегированные) обладают повышенной коррозионной стойкостью в газовой, воздушной и щелочной средах. Их применяют для изготовления деталей узлов трения, работающих при повышенных температурах (поршневых колец, блоков и головок цилиндров двигателей внутреннего сгорания, деталей дизелей, компрессоров и т. д.).

Антифрикционные чугуны используются в качестве подшипниковых сплавов, так как представляют группу специальных сплавов, структура которых удовлетворяет правилу Шарпи (включения твердой фазы в мягкой основе), способных работать в условиях трения как подшипники скольжения.

Для легирования антифрикционных чугунов используют хром, медь, никель, титан.

ГОСТ 1585-85 включает шесть марок антифрикционного серого чугуна (АЧС-1 — АЧС-6) с пластинчатым графитом, две марки высокопрочного (АЧВ-1, АЧВ-2) и две марки ковкого (АЧК-1, АЧК-2) чугунов. Этим стандартом регламентируются химический состав, структура, режимы работы, в нем также содержатся рекомендации по применению антифрикционных чугунов.

Различают перлитные и перлитно-ферритные антифрикционные чугуны. Антифрикционные перлитные чугуны (АЧС-1, АЧС-2) и перлитно-ферритный (АЧС-3) применяют при давлении в зоне контакта фрикционных пар до 50 МПа. Чугуны с шаровидным графитом АЧВ-1 (перлитный) и АЧВ-2 (перлитно-ферритный) применяют при повышенных нагрузках (до 120 МПа).

Контрольные вопросы

1. *Что называется чугуном?*
2. *Какими параметрами определяются типы чугунов?*
3. *По каким признакам осуществляется классификация чугунов?*
4. *Назовите структурные составляющие чугунов.*
5. *Чем обусловлены механические свойства высокопрочного чугуна?*
6. *Каким образом получается ковкий чугун?*
7. *Каким образом подразделяются легированные чугуны по своему назначению?*

Глава 2

СТАЛИ

Сталью называются сплавы железа с углеродом и другими элементами, содержащие менее 2,14 % С.

Стали широко применяются во всех сферах жизнедеятельности человека. В промышленности сталь является основным материалом, широко применяемым в машиностроении, а также для изготовления различного инструмента. Она сравнительно недорога; обладает ценным комплексом механических, физико-химических и технологических свойств; производится в больших количествах.

Производство стали

Сталь — это сплав железа с углеродом, который содержит менее 2 % углерода. Постоянными примесями в стали являются марганец, кремний, фосфор и сера.

Главной составляющей, определяющей свойства сталей, является углерод. С увеличением процентного содержания углерода прочность стали повышается, а способность к пластической деформации понижается. Кроме углеродистых в автомобилестроении широко применяют *легированные стали*, в состав которых для улучшения тех или иных свойств дополнительно вводят хром, никель, молибден и другие элементы.

Сера и фосфор относятся к вредным примесям. Сера уменьшает способность к ковке и свариваемость, делает сталь ломкой при нагреве (*красноломкость*). Фосфор придает стали хрупкость в холодном и горячем состоянии (*хладноломкость*).

Исходными материалами для получения стали служат: передельный чугун, стальной лом и ферросплавы. Основная задача передела чугуна в сталь состоит в удалении избытка углерода и примесей с помощью окислительных процессов, протекающих в сталеплавильных агрегатах.

Состав, свойства и качества сталей в значительной степени зависят от способа ее производства. Основными *способами производства стали являются:*

— кислородно-конвертерный;
— мартеновский;
— электродуговой.

Конвертерный способ производства стали заключается в том, что через жидкий чугун, заливаемый в конвертер, продувается воздух. Кислород, находящийся в воздухе, вступает в реакцию с углеродом, кремнием, марганцем и другими примесями в чугуне и окисляет их.

Процесс выплавки стали осуществляется только за счет теплоты химических реакций окисления примесей с учетом физической теплоты жидкого чугуна. Продувка чугуна воздухом производится сверху или через днище в специальных агрегатах — *конвертерах* (рис. 21).

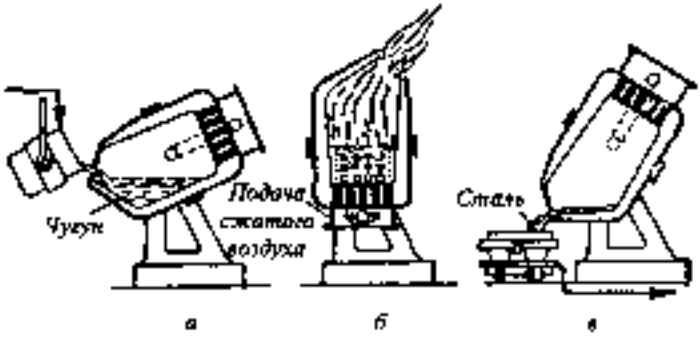


Рис. 21. Схема работы конвертера:
а — заливка чугуна; *б* — продувка; *в* — выпуск стали

Сталь в конвертерах выплавляют *бессемеровским, томасовским и кислородно-конвертерным способами.* Недостатками бессемеровского и томасовского способов является низкое качество

стали из-за повышенного содержания азота и необходимости использования только специальных сортов чугуна со строгими ограничениями по содержанию кремния, серы и фосфора. В России бессемеровскую и томасовскую сталь почти не производят.

Кислородно-конвертерный процесс выплавки стали с продувкой технически чистым кислородом сверху позволяет перерабатывать чугуны различного химического состава, включая даже высокофосфористые и природно-легированные.

Конвертеры для продувки жидкого чугуна кислородом сверху имеют глухое днище и летку для выпуска жидкого металла. В этих конвертерах реакции окисления примесей происходит интенсивное, качество сталей значительно улучшается, производительность повышается. Продувка воздухом занимает 15—20 минут. В настоящее время используются кислородные конвертеры емкостью 100—400 т. Объем выплавляемой кислородно-конвертерной стали составляет около 35 % от общего ее производства.

Вращающиеся (роторные) конвертеры были созданы в результате совершенствования конвертерного способа. Печь напоминает бетономешалку и имеет три отверстия: загрузочное, для отводов продуктов горения и летку для выпуска металла. В разогретую печь загружают железную руду и известь, затем заливают жидкий чугун и в жидкую массу металла поверху подают кислород. От загрузки печи до выхода стали проходит 50—60 минут.

Благодаря вращению конвертера вокруг своей оси жидкая сталь в ванне хорошо перемешивается, металл получается более однородным по химическому составу. Кроме того, происходит максимальное удаление серы и фосфора.

Мартеновский процесс. Одним из недостатков конвертерного способа является повышенное содержание в стали кислорода, ухудшающее ее механические свойства. Поэтому для изготовления многих ответственных изделий (инструментов; пружин; деталей, работающих под ударными нагрузками и т.д.) конвертерная сталь непригодна. Кроме того, конвертерное про-

изводство стали не решает проблему утилизации отходов (стальной лом, стружка, скрап литейного производства и т. д.).

В мартеновских печах окисление осуществляется также воздухом, но проходящим через шлак, который изолирует расплавленный металл от непосредственного воздействия кислорода воздуха, что уменьшает угар металла и способствует улучшению качества стали.

Для выплавки стали в мартеновских печах применяются: белый чугун, железная руда, лом, флюсы (известняк, обожженная известь, бокситы, плавиковый шпат). В зависимости от состава шихты различают следующие *разновидности процесса выплавки стали в мартеновских печах:*

— скрап-процесс;
— скрап-рудный процесс;
— рудный процесс.

Скрап-процесс применяется на машиностроительных заводах, не имеющих доменных печей и располагающих большим количеством всевозможных отходов производства в виде стального лома (скрапа), пакетированной стружки, пришедших в негодность чугунных и стальных деталей машин. В качестве добавки применяются чушковый чугун и известняк.

Скрап-рудный процесс применяется на заводах, оснащенных доменными печами. В этом случае 50—75 % шихты составляет жидкий чугун, остальная часть — стальной лом. Для окисления примесей чугуна в шихту вводится значительное количество железной руды.

Рудный процесс не применяется в виду своей неэкономичности.

Мартеновская печь (рис. 22) представляет собой сложное инженерное сооружение, оснащенное совершенными механизмами для загрузки шихтовых материалов и уборки продуктов плавки. Она оборудована приборами для автоматического регулирования процесса горения и температуры в печи.

Мартеновская печь состоит из *рабочего (плавильного) пространства*, ограниченного сверху *сводом*, а снизу — *подом*. Передняя стенка имеет *завалочные окна*, через которые загружают

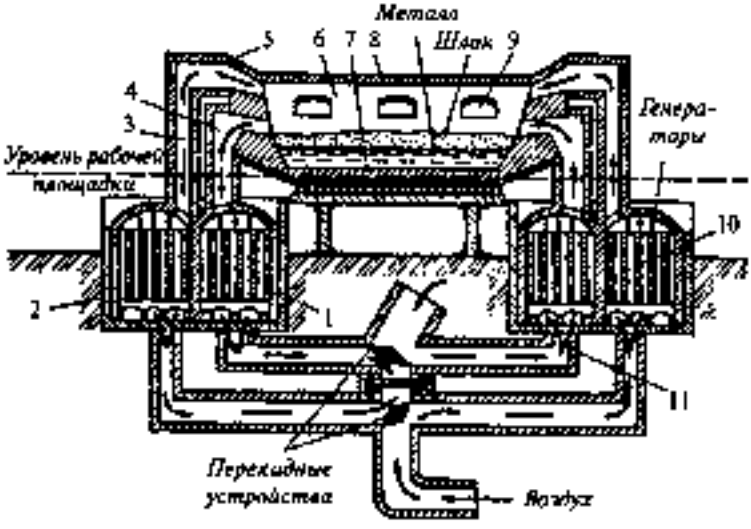


Рис. 22. Схема мартеновской печи:
1 — газовые регенераторы; 2 — воздушные регенераторы;
3, 4 — воздушные и газовые вертикальные каналы; 5 — головки;
6 — рабочее пространство печи; 7 — подина печи; 8 — свод;
9 — рабочие окна; 10 — насадка регенератора; 11 — борова

шихтовые материалы. В задней стенке имеются *отверстия для выпуска стали и шлака.*

В рабочем пространстве печи сжигается газообразное (смесь доменного и коксового газов) или жидкое (мазут) топливо. Необходимая высокая температура для получения стали в жидком состоянии обеспечивается за счет регенерации тепла отходящих газов.

В торцах рабочего пространства печи расположены *головки* для подвода топлива и воздуха и отвода продуктов горения. Головки соединены с нижним строением печи *вертикальными каналами.* Нижнее строение печи расположено под *рабочей площадкой*, где находятся *шлаковики*, в которых происходит отделение от дымовых газов частиц шлака и пыли из рабочего пространства. Здесь же размещены *регенеративные камеры* и *борова с перекидными клапанами.*

При прохождении дымовых газов *насадки* одной пары регенераторов они нагреваются до температуры 1300—1400°С. После перекидки клапанов движение топлива, воздуха и газов меняется на противоположное. Через один из нагретых регенераторов в рабочее пространство пойдет газообразное топливо, через другой — воздух. Проходя через насадку, они нагреваются до 1100—1200°С. В это время другая пара регенераторов нагревается, аккумулируя тепло отходящих газов. После охлаждения насадок первой пары регенераторов до определенной температуры происходит очередная перекидка клапанов и процесс повторяется в обратном направлении. Из регенераторов дымовые газы идут по боровам в дымовую трубу, по пути проходя через *котел-утилизатор* и *газоочистку*.

Процесс плавки состоит из нескольких последовательных периодов:

— заправки печи;
— нагрева шихтовых материалов и их плавления;
— кипения (доводки);
— раскисления металла;
— выпуска готовой стали.

Производство стали в электропечах — наиболее совершенный способ получения стали, имеющий ряд существенных преимуществ по сравнению с производством стали в конвертерах и мартеновских печах, а именно:

— температура плавильного пространства (достигает 2000°С) позволяет расплавлять металл с высокой концентрацией тугоплавких компонентов (хрома, вольфрама, молибдена и др.), способствует более полному удалению вредных примесей (серы, фосфора и неметаллических включений);
— возможность производства любых марок стали с заданным содержанием легирующих элементов, таких как хром, никель, ванадий, титан и др.;
— обеспечивается точность и простота регулирования температур режима плавки;
— значительно уменьшается угар металла и особенно легирующих элементов благодаря регулированию температуры.

В электрических печах выплавляют высококачественные конструкционные, инструментальные стали и сплавы со специальными свойствами (жаро-, коррозионностойкие и др.). Для выплавки стали применяют дуговые и индукционные электрические печи.

Дуговая электропечь (рис. 23) представляет собой сварной цилиндрический кожух со сферическим дном, изнутри футерованный огнеупорным кирпичом. В съемном своде печи имеются отверстия для установки графитовых электродов. Электроды удер-

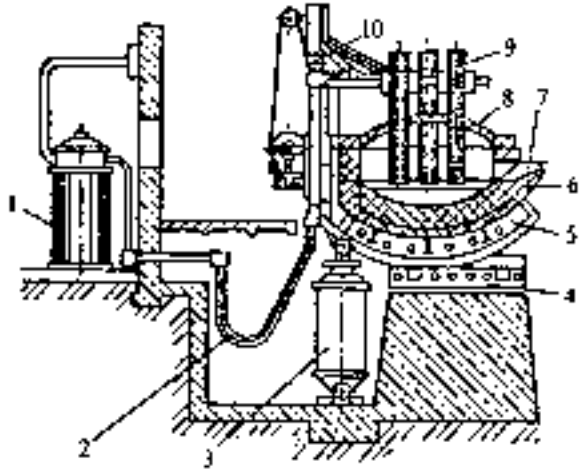


Рис. 23. Схема дуговой электропечи:
1 — трансформатор; 2 — токопроводящие кабели; 3 — гидравлический привод наклона печи; 4, 5 — опора сектора и сектор для наклона печи; 6 — подина печи; 7 — желоб для выпуска металла; 8 — свод печи; 9 — электроды; 10 — механизм для подъема и опускания электродов

живаются и автоматически перемещаются по вертикали с помощью подъемного механизма. Поворотный механизм позволяет устанавливать печь в наклонное положение. При выпуске стали печь наклоняют в сторону выпускного отверстия, при скачивании шлака — в сторону загрузочного окна.

Шихта состоит из стального лома, чугуна, флюсов, железной руды, легирующих добавок и раскислителей. Загрузку шихты в

печь производят сверху с помощью бадьи с открывающимся дном.

Источником тепла является электрическая дуга, которая возбуждается между графитовыми электродами и металлической шихтой.

Индукционные печи. Нагрев в индукционных печах осуществляется за счет тепла, выделяемого в твердом или жидком металле вихревыми токами, индуцируемыми переменным магнитным полем.

Схема индукционной печи приведена на рис. 24. В немагнитном кожухе помещается индуктор и огнеупорный плавильный

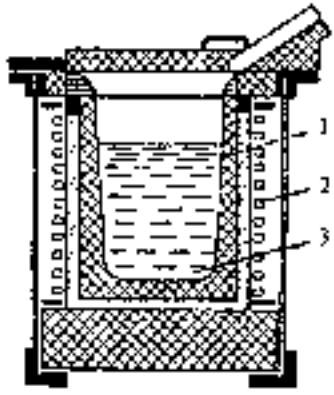


Рис. 24. Схема индукционной электрической печи.
1 — огнеупорный тигель; 2 — индуктор, 3 — расплавленный металл

тигель. Через индуктор, представляющий собой катушку из медной трубки, охлаждаемой внутри водой, пропускают ток, возбуждающий вокруг переменное магнитное поле. В металле, находящемся в тигле, индуцируются мощные вихревые токи, обеспечивающие его нагрев и плавление.

Расчет шихты ведут так, чтобы по расплавлении получить металл заданного состава. Шихту составляют из свободных от вредных примесей материалов и загрузку ее в тигель производят сверху. После полного расплавления металла берут пробу на химический анализ. Получив результаты анализа и необходимую температуру расплава, проводят его раскисление и легирование.

Преимуществом индукционной печи является возможность достижения очень высоких температур металла, что позволяет выплавлять различные высоколегированные стали и сплавы специального назначения. Вихревые токи, вызывая энергичное перемешивание металла, способствуют этим очищению его от вредных примесей.

Недостатком этих печей является более высокий, чем в дуговых печах, расход электроэнергии.

Электрошлаковый переплав. Путем электрошлакового переплава получают стали и сплавы особо высокого качества и наиболее ответственного назначения. Разработанный в России способ электрошлакового переплава (ЭШП) расходуемых электродов в водоохлаждаемом кристаллизаторе нашел широкое применение для получения коррозионностойких, подшипниковых, инструментальных и других сталей специального назначения.

Метод ЭШП состоит в том, что полученные обычным способом стали перерабатываются на электроды (слитки) для последующей их переплавки в электрошлаковой печи.

Схема установки ЭШП приведена на рис. 25. Плавление электродов (слитков) происходит за счет тепла, выделяющегося в слое расплавленного шлака, служащего сопротивлением

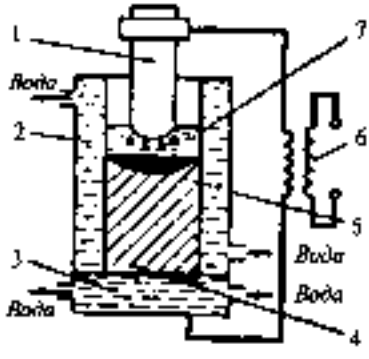


Рис. 25. Схема установки электрошлакового переплава стали:
1 — расходуемый электрод; 2 — медный водоохлаждаемый кристаллизатор; 3 — поддон; 4 — слиток; 5 — жидкий металл; 6 — трансформатор; 7 — расплавленный шлак

при прохождении через него электрического тока. Металл расходуемого электрода плавится и каплями стекает сквозь слой шлака. При этом каждая его капля очищается от вредных примесей и неметаллических включений, содержание которых в стали после переплава уменьшается в несколько раз. Образуется высококачественный плотный слиток с однородным строением, в котором отсутствуют пористость, неметаллические и газовые включения.

Общая классификация сталей

Стали классифицируют по:
— химическому составу;
— структуре;
— назначению;
— качеству;
— степени раскисления.

По химическому составу стали подразделяют на:
— *углеродистые* (низкоуглеродистые до 0,2 % С, среднеуглеродистые 0,2—0,45; высокоуглеродистые, содержащие более 0,5 % С);
— *легированные* (сумма легирующих элементов у низколегированных сталей до 2,5 %; у среднелегированных 2,5—10,0 %; у высоколегированных — более 10,0 %).

При определении степени легирования содержание углерода во внимание не принимают, марганец и кремний считаются легирующими элементами при их содержании более 1 и 0,8 % соответственно.

При обозначении марок стали используют следующие обозначения химических элементов: Г — марганец, М — молибден, Д — медь, Р — бор, С — кремний, В — вольфрам, Ю — алюминий, П — фосфор, Н — никель, Ф — ванадий, Б — ниобий, А — азот, Х — хром, Т — титан, К — кобальт, Ц — цирконий.

Для маркировки стали в России пользуются определенным сочетанием цифр и букв, показывающих примерный химический состав стали.

Первые цифры в марке стали указывают содержание углерода в сотых долях процента. Если в начале маркировки перед буквами стоит одна цифра, то она выражает содержание углерода в десятых долях процента; при содержании углерода свыше 1 % цифру перед буквами не ставят.

Далее в маркировке следуют буквы, показывающие наличие соответствующих легирующих элементов в составе стали. Цифры за буквами показывают среднее (округленное до 1) процентное содержание легирующего элемента. При этом если содержание элемента до 1,5 %, цифра не ставится. В отдельных случаях может быть указано более точно содержание легирующего элемента. Например, сталь 32Х06Л – содержит в среднем 0,32 % С и 0,6 % Ст. Последняя буква «Л» указывает, что сталь литейная.

Для обозначения высококачественной легированной стали в конце маркировки добавляют букву «А». Высококачественная сталь содержит меньше серы и фосфора, чем качественная.

Некоторые стали специального назначения выделены в отдельные группы и имеют особую маркировку. Каждой группе присваивается своя буква и ставится впереди:

Ж — хромистая нержавеющая сталь;

Я — хромоникелевая нержавеющая сталь;

Р — быстрорежущая сталь;

Ш — шарикоподшипниковая сталь;

Е — электротехническая сталь.

Структура стали — менее устойчивый классификационный признак, так как зависит от скорости охлаждения (толщины стенки отливок), степени легирования, режима термообработки и других изменяющихся факторов, но структура готового изделия позволяет объективно оценивать его качество.

Стали по структуре классифицируют в состояниях после отжига и нормализации.

В *отожженном состоянии* стали подразделяют на:

— *доэвтектоидные*, имеющие в структуре избыточный феррит;

— *эвтектоидные*, структура которых состоит из перлита;

— *заэвтектоидные*, в структуре которых имеются вторичные карбиды, выделяющиеся из аустенита;
— *ледебуритные*, в структуре которых содержатся первичные (эвтектические) карбиды;
— *аустенитные*;
— *ферритные*.

После *нормализации* стали подразделяют на следующие структурные классы:
— перлитный;
— аустенитный;
— ферритный.

На формирование структуры стали в наибольшей степени влияет *углерод*. Структура стали без термической обработки после медленного охлаждения состоит из смеси феррита и цементита (структура такой стали либо перлит + феррит, либо перлит + цементит). Количество цементита в стали прямо пропорционально содержанию углерода. Твердые частицы цементита повышают сопротивление деформации, уменьшая пластичность и вязкость. Таким образом, с увеличением в стали содержания углерода возрастают твердость, предел прочности и уменьшаются вязкость, относительное удлинение и сужение.

Для заэвтектоидных сталей на их механические свойства сильное влияние оказывает вторичный цементит, который образует хрупкую сетку вокруг зерен перлита. Эта сетка способствует преждевременному разрушению стального изделия под нагрузкой. Поэтому заэвтектоидные стали применяют после специального отжига, в результате которого получают в структуре зернистый перлит.

Уменьшение содержания углерода ниже 0,3 % и увеличение сверх 0,4 % приводит к ухудшению обрабатываемости резанием. Дальнейшее увеличение содержания углерода снижает технологическую пластичность стали при обработке давлением и ухудшает ее свариваемость — способность материалов образовывать неразъемные соединения с заданными свойствами.

Кремний слабо влияет на структуру и механические свойства углеродистой стали, но как раскислитель он способствует улучшению литейных свойств. Кремний сильно повышает предел

текучести стали, что снижает ее способность к вытяжке. Поэтому в сталях, предназначенных для холодной штамповки, содержание кремния должно быть наименьшим.

Марганец является хорошим десульфуратором и раскислителем (уменьшает вредное влияние серы и кислорода); способствует повышению механических свойств стали, не снижая пластичности, и резко уменьшает хрупкость при высоких температурах (красноломкость). В отечественной практике содержание марганца выдерживают в пределах 0,35—0,65 % в низкоуглеродистых сталях и 0,5—0,8 % в средне- и высокоуглеродистых. Многие зарубежные фирмы предпочитают иметь в углеродистых сталях 0,9—1,1 % марганца.

Сера является вредной примесью в стали, ее содержание не должно превышать 0,06 %. С железом сера образует химическое соединение — сульфид железа (легкоплавкий эвтектический сплав), располагающийся обычно по границам зерен металлической матрицы. При нагревании стали до 1000—1300°С эвтектика расплавляется и нарушается связь между зернами металла, т. е. происходит охрупчивание.

При наличии в стали марганца исключается образование легкоплавкой эвтектики и явление красноломкости.

Сульфиды, как и другие неметаллические включения, сильно снижают однородность строения и механические свойства стали, в особенности пластичность, ударную вязкость и предел выносливости, а также ухудшают свариваемость и коррозионную стойкость.

Фосфор является вредной примесью в стали, и содержание его не должно превышать 0,08 %. Растворяясь в феррите, фосфор сильно искажает и уплотняет его кристаллическую решетку. При этом увеличиваются пределы прочности и текучести сплава, но уменьшаются его пластичность и вязкость. Фосфор значительно повышает порог хладноломкости стали.

Газы (азот, водород, кислород) частично растворены в стали и присутствуют в виде хрупких неметаллических включений — оксидов и нитридов. Концентрируясь по границам зерен, они повышают порог хладноломкости, понижают предел выносливости и сопротивление хрупкому разрушению. Например, хруп-

кие оксиды при горячей обработке стали давлением не деформируются, а крошатся и разрыхляют металл.

Кремний, марганец, сера, фосфор, а также газы: кислород, азот, водород — являются постоянными примесями в стали. Кроме них в стали могут быть *случайные примеси*, попадающие в сталь из вторичного сырья или руд отдельных месторождений. Из стального лома (скрапа) в сталь могут попасть хром, никель, олово и ряд других элементов. Отдельные примеси находятся в стали в небольших количествах и не оказывают существенного влияния.

По **назначению** стали делятся на три группы:

— *конструкционные*; предназначенные для изготовления деталей машин и элементов строительных конструкций. Подразделяются на:
  - обыкновенного качества;
  - улучшаемые;
  - цементуемые;
  - автоматные;
  - высокопрочные;
  - рессорно-пружинные;

— *инструментальные*; подразделяют на подгруппы по изготовлению:
  - режущего инструмента;
  - измерительного инструмента;
  - штампово-прессовой оснастки;

— *стали специального назначения* с особыми физическими и механическими свойствами:
  - нержавеющие (коррозионно-стойкие);
  - жаростойкие;
  - жаропрочные;
  - износостойкие и др.

По **качеству стали** классифицируются на:

— *обыкновенного качества*, содержат до 0,06 % S и 0,07 % P;

— *качественные*, содержащие по 0,035 % S и 0,035 % P;

— *высококачественные* — не более 0,025 % S и 0,025 % P;

— *особо высококачественные* — не более 0,015 % S и 0,025 % P.

Под качеством понимается совокупность свойств стали, определяемых металлургическим процессом ее производства. Однородность химического состава, строение и свойства стали зависят от содержания вредных примесей и газов.

По **степени раскисления** стали классифицируют на:

— спокойные (сп);

— полуспокойные (пс);

— кипящие (кп).

Раскислением называют процесс удаления кислорода из жидкой стали.

Спокойные стали раскисляют марганцем, алюминием и кремнием в плавильной печи и ковше. Они затвердевают в изложнице спокойно, без газовыделения, с образованием в верхней части слитков усадочной раковины.

Дендритная ликвация вызывает анизотропию механических свойств. Пластические свойства стали в поперечном (по отношению к направлению прокатки или ковки) сечении значительно ниже, чем в продольном.

Зональная ликвация приводит к тому, что в верхней части слитка содержание серы, фосфора и углерода увеличивается, а в нижней — уменьшается. Это приводит к значительному ухудшению свойств изделия из такого слитка, вплоть до отбраковки.

Кипящие стали раскисляют только марганцем, что недостаточно. Перед разливкой в них содержится повышенное количество кислорода, который при затвердевании слитка частично реагирует с углеродом и выделяется в виде газовых пузырей окиси углерода, создавая впечатление «кипения» стали.

Кипящая сталь практически не содержит неметаллических включений продуктов раскисления. Эти стали выплавляют низкоуглеродистыми и с очень малым содержанием кремния (менее 0,07 %), но с повышенным количеством газообразных примесей. При прокатке слитков газовые пузыри, заполненные окисью углерода, завариваются. Листовой прокат из такой стали предназначен для изготовления деталей кузовов автомобилей вытяжкой, имеет хорошую штампуемость в холодном состоянии.

Полуспокойные стали по степени их раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими

сталями. Частично их раскисляют в плавильной печи и в ковше, а окончательно — в изложнице за счет содержащегося в металле углерода. Ликвация в слитках полуспокойной стали меньше, чем в кипящей, и приближается к ликвации в слитках спокойной стали.

Углеродистые стали

Углеродистые стали относятся к числу самых распространенных конструкционных материалов. Объем их производства достигает 80 % от общей выплавки стали.

Достоинствами конструкционных углеродистых сталей являются удовлетворительные механические свойства в сочетании с технологичностью обработки, недостатками — высокая критическая скорость закалки, небольшая прокаливаемость (до 15 мм).

Выпускают углеродистые стали трех групп:

— обыкновенного качества;

— качественную (общего назначения);

— специального назначения (автоматную, котельную и др.).

Углеродистые стали обыкновенного качества характеризуются значительным содержанием вредных примесей, неметаллических включений и газов. Стали обыкновенного качества выпускают в виде проката.

В зависимости от гарантированных свойств стали подразделяются на три группы — А, Б, В; по нормируемым показателям — на шесть категорий. Маркируют их буквами «Ст». Индексы, стоящие справа от номера марки, означают: кп — кипящая, пс — полуспокойная, сп — спокойная сталь. Между индексом и номером марки может стоять буква «Г», что означает повышенное содержание марганца. В обозначениях марок слева от букв «Ст» указаны группы (Б и В, группа А не указывается) стали. Категорию стали (по требованиям к нормируемым показателям химического состава и механических свойств) обозначают соответствующей цифрой правее индекса степени раскисления.

Например, Ст5Гпс3 означает: сталь группы А, марки Ст5 с повышенным содержанием марганца, полуспокойная, третьей

категории. Сталь первой категории пишется без указания номера последней, например СТ4пс.

Стали группы А только с гарантированными механическими свойствами; поставляются в отожженном состоянии без горячей обработки. Их химический состав не регламентируется.

Стали группы Б только с гарантированным химическим составом; используют для изготовления изделий с применением горячей обработки (штамповка, ковка).

Стали группы В имеют гарантированные механические свойства и химический состав. Их широко применяют при производстве сварных и других конструкций.

Углеродистые стали обыкновенного качества применяют для изготовления различных металлоконструкций, ненагруженных деталей машин и механизмов, крепежных изделий. Стали марок Ст5 и Ст6 предназначены для производства рельсов, железнодорожных колес, валов и шкивов грузоподъемных машин и механизмов.

Углеродистые качественные стали имеют меньшее по сравнению со сталями обыкновенного качества содержание вредных примесей и неметаллических включений. Поставляют их в виде проката с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

Сталь маркируют двузначными числами, которые обозначают содержание углерода в сотых долях процента. По степени раскисления сталь подразделяют на кипящую (кп), полуспокойную (пс), спокойную (без указания индекса). Буква «Г» в марках сталей указывает на повышенное содержание марганца (до 1 %).

Углеродистые качественные стали применяют в машиностроении для изготовления методом штамповки деталей кузовов автомобилей, корпусов и кожухов (сталь 08кп, сталь 05кп, сталь 10кп), сварных конструкций, резервуаров, емкостей, труб средней прочности (сталь 08сп, сталь 10сп), малонагруженных зубчатых колес кулачков осей (сталь 10, сталь 20, сталь 25).

Применение специальных методов обработки (закалки, нормализации, улучшения) позволяет использовать углеродистые качественные стали для изготовления деталей, испытывающих циклические нагрузки (стали 40, 45, 55, 60). Стали с повышен-

ным содержанием углерода и марганца (стали 65, 70, 75, 80, 60Г, 70Г) применяют в качестве рессорно-пружинных.

Стали углеродистые специального назначения. К этой группе относятся стали с высокими технологическими характеристиками (повышенная обрабатываемость резанием, хорошая свариваемость и др.). Они предназначены в основном для изготовления изделий массового производства.

Автоматные стали с повышенным содержанием серы и фосфора имеют хорошую обрабатываемость резанием. При обработке таких сталей на станках-автоматах образуется короткая и мелкая стружка, снижается расход режущего инструмента и уменьшается шероховатость обработанных поверхностей.

Автоматные стали маркируют буквой «А» и цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Применяют следующие марки автоматной стали: А12, А20, А30, А40Г. Из стали А12 изготавливают неответственные детали, все остальные марки автоматной стали пригодны для изготовления ответственных деталей, работающих при значительных напряжениях и повышенных давлениях.

Эти стали не применяют для изготовления сварных конструкций.

Котельная сталь применяется для изготовления деталей и устройств, работающих под давлением (паровых котлов, судовых топок, камер горения газовых турбин и др.). Они работают при переменных давлениях и температуре до 450°С, хорошо свариваются. Для получения таких свойств в углеродистую сталь вводят технологическую добавку (титан) и дополнительно раскисляют ее алюминием.

Выпускают следующие марки углеродистой котельной стали: 12К, 15К, 16К, 18К, 20К, 22К с содержанием в них углерода 0,08—0,28 % — и поставляют в виде листов толщиной до 200 мм.

Легированные стали

Для улучшения физических, химических, механических и технологических свойств стали легируют, т. е. вводят в состав дополнительные элементы (хром, никель, молибден и др.). Ста-

ли могут содержать один или несколько легирующих элементов, которые придают им специальные свойства.

Влияние легирующих элементов. Легирующие элементы вводят в сталь для повышения ее конструкционной прочности. Основной структурной составляющей в конструкционной стали является феррит. Растворяясь в феррите, легирующие элементы упрочняют его. Большинство легирующих элементов, упрочняя феррит и мало влияя на пластичность, снижают его ударную вязкость (за исключением никеля).

В значительной степени повышению конструкционной прочности при легировании стали способствует увеличение прокаливаемости.

Высокая конструкционная прочность стали обеспечивается рациональным содержанием в ней легирующих элементов. Избыточное легирование (за исключением никеля) после достижения необходимой прокаливаемости приводит к снижению вязкости и способствует хрупкому разрушению стали.

Хром в количестве до 2 % оказывает благоприятное влияние на механические свойства конструкционной стали.

Никель — наиболее ценный легирующий элемент. Его вводят в количестве от 1 до 5 %.

Марганец вводят в сталь до 1,5 %. Он заметно повышает предел текучести стали, но делает сталь чувствительной к перегреву.

Кремний значительно повышает предел текучести стали и при содержании более 1 % снижает вязкость и повышает порог хладноломкости.

Молибден и *вольфрам* в количестве 0,2—0,4 % и 0,8—1,2 % соответственно, в комплексно-легированных сталях способствуют измельчению зерна, увеличивают прокаливаемость и улучшают некоторые другие свойства.

Ванадий и *титан* вводят в небольшом количестве (до 0,3 % V и 0,1 % Ti) в стали, содержащие хром, марганец, никель, для измельчения зерна.

Повышенное содержание ванадия, молибдена и вольфрама в конструкционных сталях недопустимо из-за образования труднорастворимых при нагреве карбидов этих элементов. Избыточ-

ные карбиды, располагаясь по границам зерен, способствуют хрупкому разрушению и снижают прокаливаемость стали.

Бор вводят для увеличения прокаливаемости и в очень небольших количествах (0,002—0,005 %).

Строительные низколегированные стали с повышенным содержанием марганца (Г1 — 0,4 -0,7 % и Г2 — 1,2—1,6 %) и кремния (0,6—1,2 %) после горячей прокатки или термической обработки используют для изготовления сварных и клепаных конструкций строительных ферм, конструкций мостов, рам и т. п. Марганцовистую сталь марок 19Г и 14Г применяют для изготовления магистральных нефтепроводов, стали 35ХС, 25Г2С — для производства арматуры обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций.

Низколегированные стали после прокатки значительно превосходят по техническим свойствам углеродистые стали. Оптимальное сочетание их свойств достигается при введении нескольких легирующих элементов (например, стали 10Г2С1Д, 15Г2СФ, 14Г2АФД и др.). Конструкции, эксплуатируемые при низких температурах окружающей среды, выполняют из сталей, легированных никелем.

Низколегированные низкоуглеродистые стали хорошо свариваются. Свойства сварных швов и прилегающих к ним участков близки к свойствам основного металла. Стали, используемые для сварных конструкций, содержат алюминий или титан, предотвращающие укрупнение зерна металла в околошовной зоне. Легирование медью, никелем, хромом, фосфором способствует увеличению коррозионной стойкости сталей в газонодымных и влажных средах.

Машиностроительные цементуемые легированные стали. Стали этой группы содержат 0,1—0,3 % углерода и 0,2—4,4 % легирующих элементов.

Эксплуатационные свойства изделий из низко- и среднелегированных сталей определяются сочетанием свойств поверхностного слоя и сердцевины. Прочностные свойства слоя на рабочей поверхности изделий главным образом обусловлены содержанием в нем углерода. По механическим свойствам после термообработки (цементации) стали этой группы подразде-

ляют на среднепрочные ($\sigma_т \leq 700$ МПа) и стали повышенной прочности ($\sigma_т > 700$ МПа).

Цементуемые легированные стали применяют для изготовления нагруженных деталей, испытывающих знакопеременные и ударные нагрузки (зубчатых колес, валов, кулачков и т. п.). Характерные представители этой группы — стали 15ХФ, 15Х, 20Х — отличаются средней прочностью. После закалки в масле сердцевина деталей из таких сталей упрочняется, но поверхностный слой чувствителен к надрезам. Применяют их для изготовления небольших деталей, эксплуатируемых при средних нагрузках.

К сталям повышенной прочности относят *комплексно легированные* и *экономно легированные*. Стали 12ХН3А, 20ХН3А, 20ХН4А применяют для изготовления деталей средних и больших размеров, работающих в условиях интенсивного изнашивания при повышенных нагрузках (зубчатых колес, поршневых пальцев, осей и др.).

Особо ответственные детали — зубчатые колеса авиационных двигателей, судовых редукторов — изготовляют из сталей 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА, которые мало разупрочняются при отпуске. Они могут быть использованы и без цементации после закалки и отпуска.

Экономно легированными сталями 18ХГТ, 30ХГТ, 25ХГТ можно заменить хромоникелевые. Главным их преимуществом является наследственная мелкозернистость, что позволяет сократить технологический цикл обработки деталей. Такие стали применяют для изготовления ответственных деталей крупносерийного и массового производства.

Машиностроительные улучшаемые легированные стали используются преимущественно после термической операции — улучшения (закалки и высокого отпуска при температуре 500· -600°С на сорбит)

Улучшаемые легированные стали характеризуются содержанием углерода 0,3—0,5 % и легирующих элементов не более 5 %. Основное их назначение — изготовление ответственных деталей машин, эксплуатируемых при воздействии циклических и ударных нагрузок. Поэтому они должны обладать высоким преде-

лом текучести, низкой чувствительностью к концентрации напряжений, достаточными вязкостью и пластичностью. Требуемый комплекс служебных характеристик сталей обеспечивается их улучшением, наличием сквозной прокаливаемости, мелкозернистой структуры и недопущением отпускной хрупкости.

Хромистые стали 30Х, 40Х, 50Х применяют для изготовления средненагруженных деталей машин и механизмов, технологической оснастки.

Хромокремнемарганцевые стали (хромансили) марок 30ХГСА, 35ХГСА отличаются сочетанием хороших механических и технологических свойств. Хорошо свариваются и штампуются. Широко применяются в автомобилестроении.

Хромоникелевые стали 40ХН, 50ХН обладают высокой прокаливаемостью в сочетании с достаточными прочностью и вязкостью. Из них изготовляют ответственные детали, работающие при воздействии динамических нагрузок.

Хромоникельмолибденовые стали 40ХНМА, 38НХ3МА, 38ХН3МФА относятся к числу наиболее прочных улучшаемых сталей. Введение никеля способствует снижению порога хладноломкости и повышению прокаливаемости стали. Легирование молибденом и вольфрамом обеспечивает повышение механических свойств стали, стойкости ее к воздействию повышенных температур (до 450°С). Используют такие стали для изготовления особо ответственных крупных деталей — валов и роторов турбин, компрессоров, редукторов. Недостатки этой группы сталей — трудность обработки резанием.

Мартенситостареющие высокопрочные стали. К этой группе относятся комплексно легированные среднеуглеродистые стали после низкого отпуска и термомеханической обработки, а также мартенситостареющие стали.

Широкое применение получили среднеуглеродистые стали, упрочняемые закалкой и низким отпуском (180—200°С), имеющие структуру отпущенного мартенсита. Прочность таких сталей определяется содержанием в них углерода и практически не зависит от легирующих элементов, которые вводят для улучшения прокаливаемости стали, устойчивости ее после отпуска. Ле-

гирование никелем в сочетании с другими элементами снижает чувствительность деталей из этих сталей к надрезам.

Мартенситостареющие стали — безуглеродные (не более 0,03 % С) сплавы железа с никелем, легированные кобальтом, молибденом, титаном, алюминием, хромом и другими элементами.

Стали этой группы (Н18К9М5Т, Н12К1510, Н10Х11М2Т) являются перспективными конструкционными материалами. Высокие механические свойства этих сталей достигаются за счет старения мартенсита, легирования твердого раствора и закалки на воздухе при температурах 800—860°С. Образующийся пересыщенный железоникелевый мартенсит сочетает достаточно высокую прочность и пластичность. В основном упрочнение сталей достигается в результате старения при 450—500°С.

Мартенситостареющие стали сохраняют высокие механические характеристики при низких температурах вплоть до температур сжиженных газов. Такие стали и теплоустойчивы до 500 - 700°С. Достоинством сталей данного класса является высокая технологичность их переработки. Они имеют практически неограниченную прокаливаемость, хорошо свариваются, легко обрабатываются давлением, резанием даже в закаленном состоянии; при термической обработке не подвергаются короблению.

Мартенситостареющие стали находят широкое применение для изготовления ответственных деталей в авиации, ракетной технике, судостроении и криогенной технике.

Пружинные стали. Стали с высокими пределами упругости и выносливости, сочетающимися с достаточной их пластичностью и вязкостью, применяют для изготовления упругих элементов общего назначения — пружин, рессор, амортизаторов и т. п.

Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств в стали вводят не менее 0,5 % углерода, их подвергают закалке и отпуску на тростит.

Упругие элементы простой формы изготовляют из термически обработанных сталей. Крупные пружины получают навивкой отожженной проволоки.

Рессорно-пружинные стали относят к классу перлитных. Основными легирующими элементами таких сталей являются кремний,

марганец, хром, ванадий, никель. Легирование обусловливает в основном повышение прокаливаемости стали, предела ее выносливости, снижение остаточных деформаций.

Кремнистые стали 50С2, 55С2, 60С2 имеют высокий предел текучести и используются для изготовления рессор автомобилей, торсионных валов, пружин и др.

Стали марок 60С2ХА, 60С2ФА применяют для высоконагруженных рессор и пружин.

Стали марок 70С3А, 60С2ХА, 60С2Н2А обладают наиболее высокими механическими свойствами и идут на изготовление нагруженных и ответственных упругих элементов.

Поверхностные дефекты изделий из таких сталей резко снижают долговечность пружин и рессор. Поэтому срок их службы повышают поверхностным наклепом.

Износостойкие конструкционные стали обладают высоким сопротивлением изнашиванию, для чего вводят легирующие добавки или применяют специальные методы обработки в зависимости от условий эксплуатации.

Шарикоподшипниковые стали по составу и структуре относят к классу инструментальных. Содержание углерода в них — около 1 %. Для увеличения прокаливаемости в состав стали вводят легирующие элементы (Cr, Si, Mn), содержание которых зависит от размеров деталей. Например, сталь марки ШХ6 применяют для деталей с максимальным размером до 10 мм, а ШХ15ГС — свыше 30 мм, крупногабаритные детали изготовляют из стали 20Х2Н4А. Для подшипников, работающих в агрессивных средах, применяют коррозионно-стойкую высокоуглеродистую сталь 95Х18.

Высокомарганцовистая сталь марки Г13Л применяется для деталей, эксплуатируемых при воздействии ударных нагрузок, вызывающих их поверхностный наклеп. Износостойкость этой стали после наклепа повышается. Сталь Г13Л плохо обрабатывается резанием, поэтому изделия из нее получают ковкой или литьем.

Применяют сталь Г13Л для изготовления дробильно-размольного оборудования; деталей экскаваторов, гусеничных тракторов.

Графитизированная сталь применяется для изготовления деталей, эксплуатируемых в условиях трения, скольжения. Эту сталь получают из высокоуглеродистой стали (1,5—2 % С) с повышенным содержанием кремния, который способствует графитизации.

Структура графитизированной стали — ферритно-цементитная смесь и графит. Графит играет роль смазочного материала, предотвращающего схватывание контактирующих поверхностей.

Коррозионно-стойкие стали. К коррозионно-стойким относят металлические материалы, не разрушающиеся под воздействием коррозионных сред. Коррозионно-стойкие стали подразделяют на два основных класса: хромистые и хромоникелевые.

Хромистые стали обладают высокой коррозионной стойкостью, которая повышается после термической обработки и придания высокой чистоты поверхности изделий (шлифованием, полированием).

Стали марки 3Х13, 4Х13 используют для изготовления хирургических инструментов; Х17, Х25Т — оборудования химических заводов; Х25Т, Х28 — деталей, эксплуатируемых в высокоагрессивных средах.

Хромоникелевые стали, легированные хромом и никелем (или марганцем), обладают более высокой устойчивостью к коррозии по сравнению с хромистыми. Стали этого класса (18 % Cr, 9 - 10 % Ni) технологичны при обработке давлением, хорошо свариваются, однако имеют низкие показатели литейных свойств и обрабатываемости резанием.

При нарушении режимов термической обработки, а также при эксплуатации деталей при повышенных температурах (400—800°С) коррозионная стойкость хромоникелевых сталей резко снижается. Для устранения этого недостатка стали дополнительно легируют титаном и ниобием (стали 04Х18Н10, 08Х18Н10, 12Х18Н10Т) и используют в авиа-, судо-, машиностроении.

Жаростойкие (окалиностойкие) стали сопротивляются окислению (образованию окалины) при высокой температуре. Свойство жаростойкости стали придает хром. Для повышения жаростойкости хромистых сталей в них вводят алюминий и кремний.

Наиболее распространены жаростойкие стали, содержащие:
— хром и никель (сильхромы);
— хром и алюминий (хромали);
— хром, кремний и алюминий (сильхромали).

Типичные представители жаростойких сталей — 40Х9С2, 10Х13СЮ, 12Х18Н9Т, Х8СМ, Х8С2М. Из этих сталей изготовляют, например, клапаны двигателей внутреннего сгорания.

Жаропрочные стали сохраняют или мало снижают механические свойства и обеспечивают эксплуатацию изделий при температурах свыше 500°С.

По содержанию легирующих элементов жаропрочные стали разделяют на низко-, средне- и высоколегированные; по структуре — перлитные, мартенситные и аустенитные. Существуют классификации жаропрочных сталей в зависимости от их назначения.

Для изготовления изделий, эксплуатируемых при температурах 350—400°С, применяют стали 15, 20, 25, 30, 40 и 45; для деталей с рабочей температурой среды 500—580°С — низкоуглеродистые стали, легированные кобальтом, молибденом и ванадием (16М, 25ХМ, 12Х1МФ).

Нагруженные детали установок с температурой рабочей среды 450—470°С изготовляют из хромистых сталей. Для повышения эксплуатационных характеристик стали дополнительно легируют ванадием, вольфрамом, молибденом, ниобием и титаном. Эти элементы, образуя карбиды, увеличивают жаропрочность стали. Легирование бором, цирконием, церием, а также азотирование способствует дополнительному увеличению ее жаропрочности. Для достижения оптимальной жаропрочности высокохромистые стали 15Х11МФ и 1ХКВНМФ закаливают в масле при 1000—1060°С и отпускают при 700—740°С. Еще более высокой жаропрочностью обладают аустенитные стали 4ХН14В2М и 4Х15Н7Г7Ф2МС, применяемые для изготовления клапанов авиационных двигателей.

Инструментальные стали и твердые сплавы

Инструментальные стали предназначены для изготовления режущего и измерительного инструмента. К этой группе сталей относят углеродистые и легированные стали с высокими твердостью и износостойкостью. Особенно перспективны быстрорежущие стали, отличающиеся высокой теплостойкостью, что позволяет производить обработку металлов резанием с повышенной скоростью. Методами порошковой металлургии получают сплавы повышенной твердости, износостойкости и теплостойкости, которые используют при изготовлении инструмента, применяемого при высоких скоростях резания.

Стали для режущего инструмента. Основными критериями выбора стали для изготовления режущего инструмента являются ее износо- и теплостойкость, а также стали должны обладать твердостью, превышающей твердость обрабатываемого материала, и высокой прочностью в сочетании с достаточной вязкостью.

Углеродистые стали марок У7, У8, У10, У11, У12, У13 обыкновенного качества или высококачественные применяют при изготовлении инструмента для резания материалов низкой твердости с небольшими скоростями.

Сталь У9 применяется для изготовления деревообрабатывающего инструмента.

Стали У10, У11, У12 идут на изготовление металлорежущего инструмента: резцов, сверл, метчиков, плашек, напильников.

Стали У8, У9, У10 применяются при изготовлении измерительного инструмента — скобы, калибры и т. п.

Низколегированные стали с небольшой прокаливаемостью применяют для изготовления инструмента, работающего при температурах до 200—260°С. Эти стали, для получения эксплуатационных характеристик, подвергают неполной закалке и низкому отпуску. Закалку производят в масле или горячих средах.

Сталь марки 7ХФ применяется при изготовлении инструмента, работающего с ударными нагрузками — зубила, пуансоны, стамески, долота и т. п.

Сталь марки ХВ4 отличается особой твердостью и износостойкостью и используется при изготовлении инструмента для чистовой обработки металлов (развертки, шаберы, гравировальные резцы, пилы по металлу и резцы для обработки твердых металлов резанием).

При изготовлении высокопроизводительного инструмента, предназначенного для работы с высокими скоростями резания, применяются *быстрорежущие стали*. Главным достоинством последних является высокая теплостойкость (обеспечивается введением значительного количества карбидообразующих элементов: W, Mo, V, Co).

Быстрорежущие стали подвергают термической обработке специальных видов. Для улучшения обрабатываемости резанием после ковки быстрорежущую сталь отжигают при 800—860°С. Требуемую теплостойкость быстрорежущие стали приобретают после закалки и многократного отпуска. Отличительной особенностью закалки этих сталей является медленный нагрев и прогревание при 480 и 850°С в средах, предотвращающих их окисление и обезуглероживание. Для сокращения числа операций отпуска после закалки стали ее обрабатывают холодом (—80°С).

Для повышения износостойкости инструмент из быстрорежущих сталей подвергают цианированию.

По режущим свойствам быстрорежущие стали разделяют на:

— *нормальной производительности* (вольфрамовые Р18, Р12, Р9, Р9Ф5 и вольфрамомолибденовые Р6М3, Р6М5), с теплостойкостью инструмента до 620°С;

— *повышенной производительности*, имеющие в своем составе кобальт, или с повышенным содержанием ванадия (марок Р18Ф2, Р14Ф4, Р14Ф4, Р18К5Ф2, РУМ4К8); с теплостойкостью инструмента до 640°С.

Инструмент из быстрорежущих сталей применяют преимущественно для резания высокопрочных и труднообрабатываемых материалов.

Стали для измерительного инструмента обладают высокой износостойкостью и свойством сохранять стабильные размеры и форму изделий в течение длительного времени.

Высокоуглеродистые хромистые стали марок Х, ХВГ, ХГ, 9ХС, 12Х1 нашли самое широкое применение для изготовления измерительного инструмента, закаливаемого до твердости 57—60 HRc. Закалку проводят в масле при температуре 840—880°С. Инструмент повышенной точности подвергают обработке холодом при - 50... - 80°С.

Стали марок 15, 20, 15Х, 20Х, 12ХН3А используют при изготовлении плоских и длинномерных измерительных инструментов. Закалку поверхностного слоя производят, как правило, токами высокой частоты (ТВЧ), что позволяет обеспечить высокую износостойкость поверхностного слоя инструментов при сохранении стабильности их размеров.

Сталь марки 38ХМЮА используют при изготовлении инструмента большого размера и сложной формы.

Твердые сплавы — материалы, состоящие из высокотвердых и тугоплавких карбидов ванадия, титана, тантала с металлической связующей, полученные методами порошковой металлургии.

Порошки карбидов смешивают с кобальтовой связкой, прессуют и спекают при 1400—1550°С в среде водорода или в вакууме.

В зависимости от состава карбидной основы твердые сплавы подразделяются на:

ВК — вольфрамовые;

ТК — титановольфрамовые;

ТТК — титанотанталовольфрамовые.

Маркируются твердые сплавы буквами и цифрами. В сплавах ВК и ТТК цифры показывают содержание кобальта, в сплавах ТК — содержание карбида вольфрама в процентах. Цифры после букв Т и ТТ указывают содержание карбидов титана и суммарное содержание карбидов титана и тантала.

Твердые сплавы имеют высокие пределы прочности при сжатии (до 6000 МПа), твердость (74—76 HR_C), теплостойкость (до 1000°С). Главными недостатками твердых сплавов являются их хрупкость и трудность механической обработки.

Твердые сплавы в виде пластин механическим способом или латунным припоем крепят на режущем инструменте. Инструменты с твердосплавными пластинами применяют в наиболее тяжелых условиях резания с максимальными скоростями.

Стали и сплавы со специальными свойствами

В современном машиностроении широко используют стали и сплавы, обладающие специальными свойствами: заданной проводимостью, низким удельным электросопротивлением, заданным температурным коэффициентом линейного расширения, полупроводниковыми и магнитными свойствами, способностью восстанавливать заданную форму изделия.

Металлические проводниковые материалы. Широкое применение в автомобилях нашли металлы и сплавы высокой проводимости: серебро, медь, бронзы и латуни.

Серебро применяется для изготовления неокисляющихся проводников электрических контактов ответственных приборов. Специальными методами из серебра изготовляют покрытия на меди, латуни и непроводящих материалах: керамике, стекле, полимерах.

Медь имеет широкое применение благодаря высокой проводимости, хорошим механическим характеристикам, более низкой по сравнению с серебром стоимости. Для защиты меди от окисления токоведущие элементы серебрят.

В отожженном виде медь (марки ММ) имеет более высокую проводимость, в нагартованном (марки МТ) — высокую прочность. Мягкую медь (марки МО, М1) применяют для изготовления жил обмоточных проводов. Медь марок М2, М3 и М4 используют преимущественно для получения сплавов.

В изделиях с повышенными механическими характеристиками используют латуни, кадмиевые и бериллиевые бронзы.

Кадмиевую бронзу используют для изготовления троллей, скользящих контактов, мембран.

Латуни применяют для изготовления различных токопроводящих деталей.

Алюминий характеризуется достаточно высокой электропроводностью в сочетании с пластичностью и малой плотностью. Он более распространен в природе, чем медь, более стоек к коррозии. Промышленность выпускает сверхчистый алюминий

марок А 999 и А 995, алюминий высокой чистоты марок А 99 и А 95. Их используют для изготовления электролитических конденсаторов, защитных кабельных оболочек. Из алюминия технических марок А 85 и А 7 изготавливают кабели, токопроводящие шины.

Для соединения алюминиевых проводов применяют специальные припои, разрушающие в месте контакта пленку окислов с высоким электрическим сопротивлением. В ряде случаев используют биметаллическую проволоку, состоящую из стальной сердцевины и медной или алюминиевой оболочки. Покрытие наносят гальваническим способом или плакированием.

Полупроводниковые материалы представляют собой класс материалов с электронной проводимостью, характеризующихся большей удельной электропроводностью, чем металлы, но меньшей, чем диэлектрики. Для получения полупроводников с заданными удельными электросопротивлением и типом проводимости осуществляют их легирование.

Согласно химической классификации полупроводниковых материалов, их разделяют на два класса:

— *простые полупроводники*, имеющие в своем составе один элемент (B, C, Si, Ge, Sn, P, As, Sb, S, Se, Te, I);
— *сложные полупроводники*, являющиеся химическими соединениями и сплавами.

Германий (Ge) является одним из наиболее широко применяемых полупроводников, его используют для изготовления выпрямителей, транзисторов, диодов и др.

Полупроводниковые приборы на основе *кремния* работоспособны при более высоких температурах (120—150°С), чем германиевые (70—85°С). Нелегированный кремний применяют при создании силовых выпрямителей, стабилизаторов напряжения и др.

Также достаточно широко используются в электронной промышленности селен, теллур и их соединения.

Магнитные стали и сплавы характеризуют магнитной проницаемостью, коэрцитивной силой и остаточной индукцией. В зависимости от значений этих величин магнитные материалы разделяют на:

— *магнитно-мягкие материалы* (ферромагнетики), имеющие малую коэрцитивную силу и большую магнитную проницаемость. К ним относят электротехническое железо и сталь, железоникелевые сплавы (пермаллои);
— *магнитно-твердые стали и сплавы*, имеющие большую коэрцитивную силу. Это высокоуглеродистые и легированные стали, специальные сплавы.

Электротехническое железо (марки Э, ЭА, ЭАА) содержит менее 0,04 % С, обладает высокой магнитной проницаемостью и применяется для сердечников, полюсных наконечников электромагнитов и др.

Электротехническая сталь содержит менее 0,05 % С и кремний, сильно увеличивающий магнитную проницаемость. По содержанию кремния эту сталь делят на четыре группы:
— с 1 % Si — марки Э11, Э12, Э13;
— с 2 % Si — марки Э21, Э22;
— с 3 % Si — марки Э31, Э32;
— с 4 % Si — марки Э41, Э48.

Вторая цифра (1—8) характеризует уровень электротехнических свойств.

Железоникелевые сплавы (пермаллои) содержат 45—80 % Ni, их дополнительно легируют Cr, Si, Mo. Магнитная проницаемость этих сплавов очень высокая. Применяют пермаллои в аппаратуре, работающей в слабых магнитных полях (телефон, радио).

Ферриты — материалы, получаемые спеканием смеси порошков ферромагнитной окиси железа Fe_2O_3 и оксидов двухвалентных металлов (ZnO, NiO, MgO и др.). У ферритов очень высокое удельное электросопротивление, что определяет их применение в устройствах, работающих в области высоких и сверхвысоких частот.

Развитие электроники, вычислительной техники, радиотехники обусловило необходимость разработки магнитных материалов со специальными магнитными свойствами.

В электронной вычислительной технике и автоматических устройствах широко применяют *магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ)*. Основными требованиями

к материалам с ППГ являются: заданное значение коэрцитивной силы и минимальное время перемагничивания.

В малогабаритных ЭВМ и оперативных запоминающих устройствах используют тонкие ферромагнитные пленки. Характерная особенность этих материалов — незначительное время перемагничивания (от десятых долей до нескольких наносекунд).

В качестве носителей магнитной записи используют ленты, диски, барабаны и т. д. Магнитную запись производят на специальном материале, состоящем из подложки и слоя магнитного вещества на органическом связующем. В качестве подложки используют поливинилхлорид, лавсан, полиамид. Магнитный материал — это обычно высокодисперсные оксиды $Fe_2Cr_2O_3$, сплавы Fe-Co. Слой магнитного материала наносят электролитическим осаждением, распылением в вакууме.

Сплавы с высоким электрическим сопротивлением применяются для изготовления электронагревателей и элементов сопротивлений (резисторов) и реостатов.

Железохромалюминиевые (Х13Ю4) и *никелевые* (Х20Н80 — нихром) сплавы для электронагревателей обладают высокой жаростойкостью, высоким электрическим сопротивлением, удовлетворительной пластичностью в холодном состоянии. Стойкость нагревателей из железохромалюминиевых сплавов выше, чем у нихромов. Сплавы применяют для бытовых приборов и промышленных печей.

Стали и сплавы с особыми упругими свойствами. В машиностроении широкое применение получили материалы, обладающие высокими пределом упругости и пределом выносливости. Эти свойства материалов обеспечиваются их термической обработкой — закалкой и последующим отпуском. *Среднеуглеродистые стали с упругими свойствами* применяют для изготовления пружин, рессор общего назначения. Для изготовления упругих элементов в приборостроении применяют *сплавы с особыми упругими свойствами*. Пружины, мембраны, сильфоны — изготовляют из сплавов 42НХТЮ, 17ХНГТ, 68НХВКТЮ, 95НЛ и др. Эти сплавы в закаленном состоянии достаточно технологичны в ле-

реработке, а после старения приобретают высокие упругость и прочность.

Для изготовления упругих элементов особого назначения применяют *бериллиевые бронзы* (БрБ2) с малыми неупругими эффектами при больших упругих деформациях. Они упрочняются термической обработкой. Бериллиевые бронзы дополнительно легируют титаном и никелем, микролегируют бором (до 0,1 %), магнием (до 0,1 %). Для защиты упругих элементов от воздействия коррозионно-активных сред применяют их оксидирование, кадмирование, никелирование.

Для изготовления упругих элементов, работающих под воздействием электрического тока, применяют *сплавы на никелевой и кобальтовой основе*: 05НЛМ, ЭП431.

Сплавы с заданным коэффициентом теплового расширения. Они содержат большое количество никеля. Сплав 36Н — *инвар*, почти не расширяется при температурах от −60 до + 100°С, обладает хорошими служебными характеристиками, технологичен и коррозионно-стоек. Легированием инвара кобальтом получают *суперинвар*. Эти сплавы применяют для изготовления деталей приборов, требующих постоянных размеров в интервале климатических изменений температур.

Для соединения металлических деталей приборов со стеклянными применяют сплавы Fe–Ni, легированные кобальтом или медью. Для соединений с термостойким стеклом применяют сплав 29НК (29 % Ni, 18 % Co) — *ковар*. Для нетермостойких стекол применяют сплав 48Н — *платинит*.

В приборостроении широко используют материалы, состоящие из двух слоев материалов с различными температурными коэффициентами линейного (объемного) расширения — *термобиметаллы* (сплавы марок 19НХ, 20НТ, 24НХ, 27НМ, 46Н и др.). Термобиметаллы применяют для изготовления тепловых реле, конденсаторов, сигнальных пожарных устройств.

Сплавы с «эффектом памяти». «Эффект памяти механической формы» заключается в свойстве пластически деформированного при повышенных температурах изделия, а затем деформированного при данной температуре до потери первоначальной формы, восстанавливать ее при повторном нагреве.

«Эффект памяти механической формы» характерен для ряда сплавов: Ti- Ni, Cu-Zn и др. Наиболее типичным представителем таких материалов является сплав Ti- Ni (нитинол).

Сплавы, реализующие «эффект памяти», используют для изготовления самораскрывающихся антенн космических аппаратов, в устройствах пожаротушения и др.

Контрольные вопросы

1. *Каким образом классифицируются стали?*
2. *Как подразделяются стали по своему назначению?*
3. *Какие существуют группы углеродистых сталей?*
4. *С какой целью осуществляется легирование сталей?*
5. *Какие стали относятся к группе инструментальных?*
6. *Что представляют собой твердые сплавы?*

Глава 3

ОСНОВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Термической обработкой называется совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения твердых металлических сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения внутреннего строения и структуры.

Термическая обработка используется в качестве промежуточной операции для улучшения обрабатываемости резанием, давлением и др. и как окончательная операция технологического процесса, обеспечивающая заданный уровень физико-механических свойств детали.

Основными факторами любого вида термической обработки являются температура, время, скорость нагрева и охлаждения. Режим термообработки обычно представляется графиком в координатах температура — время ($t - \tau$) (рис. 26). Скорость нагрева и охлаждения характеризуется углом наклона линий на графике.

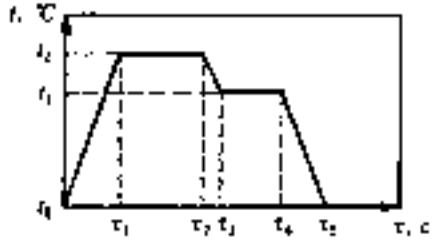


Рис. 26. График термической обработки

Виды термической обработки стали

Различают три основных вида термической обработки металлов.

— собственно термическая обработка, которая предусматривает только температурное воздействие на металл;
— химико-термическая обработка, при которой в результате взаимодействия с окружающей средой при нагреве меняется состав поверхностного слоя металла и происходит его насыщение различными химическими элементами;
— термомеханическая обработка, при которой структура металла изменяется за счет термического и деформационного воздействия.

Основные виды собственно термической обработки стали:

— *отжиг первого рода* — нагрев, выдержка и охлаждение стального изделия с целью снятия остаточных напряжений и искажений кристаллической решетки после предшествующей обработки;
— *отжиг второго рода* — нагрев выше температуры фазового превращения и медленное охлаждение, для получения равновесного фазового состава стали;
— *закалка* — нагрев выше температур фазового превращения с последующим быстрым охлаждением для получения структурно неравновесного состояния;
— *отпуск* — нагрев закаленной стали ниже температур фазовых превращений и охлаждение для снятия остаточных напряжений после закалки. Если отпуск проводится при комнатной температуре или несколько ее превышающей, он называется *старением*.

Фазовые и структурные превращения при термической обработке стали

Основой для рассмотрения видов термической обработки стали является часть диаграммы железо — углерод, соответству-

ющая содержанию углерода до 2,14 % и расположенная ниже линии солидус (см. рис. 8). Для этой части диаграммы характерны следующие структуры, переход которых из одной в другую характеризует основные превращения:

Аустенит - твердый раствор углерода в γ-железе;

Перлит — эвтектоидная смесь феррита и цементита.

Мартенсит — пересыщенный твердый раствор углерода в α-железе.

При термической обработке стали различают четыре основные превращения:

— превращение при нагреве перлита в аустенит;
— превращение при охлаждении аустенита в перлит;
— превращение при охлаждении аустенита в мартенсит;
— превращение мартенсита в перлитные структуры.

Превращение перлита в аустенит происходит при температуре 727°С (линия PSK), что соответствует очень медленному нагреву. В реальных условиях превращение происходит при нагреве и в интервале температур. От степени перегрева зависит скорость превращения. Чем выше температура, тем быстрее идет превращение. После полного превращения перлита в аустенит размер зерен в стали значительно уменьшается. При дальнейшем нагреве зерна растут, причем разные стали характеризуются различной склонностью к росту зерна. Одни начинают быстро увеличивать размер зерен даже при небольшом перегреве, другие остаются практически без изменений и начинают увеличивать зерна при достаточно высоких температурах.

От склонности к росту зерна зависит технологический процесс горячей деформации и термообработки. Чем меньше склонность к росту зерна, тем больше интервал закалочных температур стали; ее прокатка и ковка могут завершаться при более высоких температурах.

Величина зерна при комнатной температуре, полученная в результате термической обработки (действительное зерно), обычно тем больше, чем больше исходное зерно аустенита (полученное в результате нагрева). Величина действительного зерна стали оказывает наибольшее влияние на ударную вязкость, особенно при низких температурах.

Превращение аустенита в перлит при охлаждении. Превращение происходит при переохлаждении аустенита ниже 727°С при непрерывном охлаждении или при выдержке при постоянной температуре (изотермическое превращение аустенита). Образующиеся фазы (феррит и цементит) существенно отличаются по составу от исходной фазы (аустенит). Поэтому превращение сопровождается перераспределением углерода за счет диффузии, т. е. носит диффузионный характер.

Конечная структура данной марки стали зависит от температуры, при которой происходит превращение аустенита. При температуре 650—700°С образуется перлит. Перлит представляет собой чередующиеся пластинки цементита и феррита. При увеличении переохлаждения растет число чередующихся пластин феррита и цементита, их размеры и расстояния между ними уменьшаются. То есть с понижением температуры растет дисперсность продуктов превращения аустенита. Под степенью дисперсности понимают расстояние между соседними пластинками феррита и цементита. При температуре 600—650°С образуется сорбит, а при 550—600°С — троостит. *Перлит, сорбит, троостит* (перлитные структуры) — механические смеси феррита и цементита, которые отличаются друг от друга только степенью дисперсности. С увеличением степени дисперсности растет твердость и прочность стали. Наибольшую пластичность имеют стали с сорбитной структурой. Троостит характеризуется меньшей пластичностью.

Превращение аустенита в мартенсит. При больших степенях переохлаждения неустойчивость аустенита возрастает, а скорость диффузии углерода резко падает. При переохлаждении аустенита в эвтектоидной стали до 240°С подвижность атомов углерода близка к нулю и происходит бездиффузионное превращение аустенита. При этом меняется тип решетки $\gamma \rightarrow \alpha$, а весь углерод, ранее растворенный в решетке аустенита, остается в решетке феррита.

Образуется *мартенсит* — перенасыщенный твердый раствор внедрения углерода в α-железе. Мартенсит имеет ту же концентрацию углерода, что и исходный аустенит. Из-за перенасыщенности углеродом решетка мартенсита сильно искажена и вмес-

то кубической приобретает тетрагональную форму (рис. 27). При переходе от аустенитной к мартенситной структуре объем и размеры деталей увеличиваются.

Мартенситное превращение идет в интервале температур при непрерывном охлаждении. Для эвтектоидной стали оно начинается при 240° и заканчивается при −50°С.

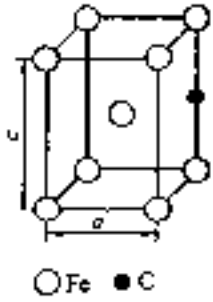


Рис. 27 Тетрагональная кристаллическая ячейка мартенсита

Мартенсит имеет высокую твердость и хрупкость.

Превращение мартенсита в перлитные структуры. Структура стали после закалки состоит из тетрагонального мартенсита и некоторого количества остаточного аустенита. При нагреве закаленной стали ниже температуры фазового превращения (отпуск) происходят следующие процессы. При нагреве до 200°С из мартенсита выделяются пластинки карбидной фазы, решетка мартенсита становится близкой к кубической. Образуется структура отпущенного мартенсита. При нагреве до 300°С остаточный аустенит превращается в смесь перенасыщенного α-твердого раствора и карбида, т. е. в отпущенный мартенсит. При дальнейшем нагреве из твердого раствора выделяется весь избыточный углерод, карбиды обособляются, образуется цементит. При нагреве до 400°С сталь состоит из феррита и цементита, образующих структуру троостита отпуска. При нагреве до 600°С образуется структура сорбита отпуска, состоящая из феррита и мелких зерен цементита.

В отличие от троостита и сорбита, получаемых при распаде аустенита, зерна цементита, образующиеся при распаде мартенсита, равноосные, а не пластинчатые. Разная форма цементита обусловливает различие в свойствах структур. Зернистые структуры имеют более высокие механические свойства, характеризируются большей пластичностью и вязкостью при равной твердости.

Влияние термической обработки на механические свойства стали

Термическая обработка проводится для изменения механических свойств стали (прочности, твердости, пластичности, вязкости). Эти свойства зависят от структуры стали после термической обработки.

После отжига, отпуска, нормализации (отпуск с охлаждением на воздухе) структура стали состоит из пластичного феррита и цементита, обладающего высокой твердостью и хрупкостью. Включения карбидов оказывают упрочняющее действие на стали. При малом числе цементитных включений стали пластичны и имеют невысокую твердость. Измельчение частиц цементита при термической обработке приводит к упрочнению стали. При укреплении частиц цементита увеличивается способность стали к пластической деформации.

Повышение температуры отпуска закаленных изделий, ведущее к укрупнению цементитных частиц, снижает прочность. Прочность снижается при уменьшении скорости охлаждения в процессе закалки или повышении температуры из термического распада.

После закалки структура стали состоит из мартенсита и остаточного аустенита. Твердость определяется твердостью мартенсита и его количеством. Пластичность закаленной стали зависит не только от содержания мартенсита, но и от его дисперсности (размера игл). Для обеспечения высокого комплекса механических свойств стремятся получить после закалки мелкоигольчатую структуру, что достигается при мелкозернистой структуре аустенита до превращения.

Твердость стали зависит от температуры изотермического распада аустенита. Чем ниже температура изотермического распада аустенита, тем выше дисперсность перлитных фаз и вследствие этого выше твердость стали.

Заключительной операцией термической обработки является отпуск. При отпуске стальное изделие приобретает свои окончательные свойства. Чем выше температура отпуска, тем ниже

прочность и выше пластичность стали. Наибольшая пластичность соответствует отпуску при температуре 600—650°С.

Механические свойства стали после закалки и высокого отпуска оказываются выше по сравнению с отожженной или нормализованной сталью.

Двойная термическая обработка, состоящая в закалке с последующим высоким отпуском, ведущая к существенному улучшению общего комплекса механических свойств, называется *улучшением* и является основным видом термической обработки конструкционных сталей.

Контрольные вопросы

1. *Что называется термической обработкой металлов?*
2. *Назовите виды термической обработки стали.*
3. *Какие структурные превращения происходят при термической обработке стали?*
4. *С какой целью проводится термическая обработка сталей?*
5. *Какая структура обеспечивает высокий комплекс механических свойств стали после термической обработки?*

Отжиг и нормализация

Отжиг — термическая обработка, при которой сталь нагревается до определенной температуры, выдерживается при ней и затем медленно охлаждается в печи для получения равновесной, менее твердой структуры, свободной от остаточных напряжений.

На рис. 28 представлена схема различных видов отжига.

К отжигу **I рода**, не связанному с фазовыми превращениями в твердом состоянии, относятся:

— *диффузионный отжиг (или гомогенизация)* — нагрев до 1000—1100°С для устранения химической неоднородности, образовавшейся при кристаллизации металла. Гомогенизации подвергают слитки или отливки высоколегирован-

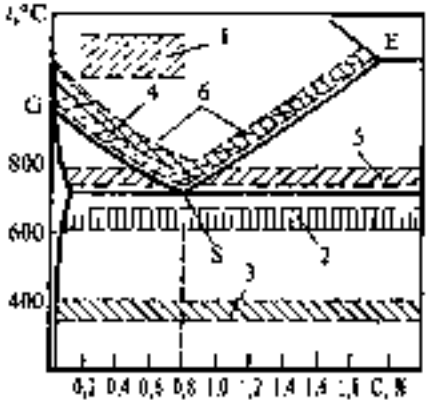


Рис. 28. Температура нагрева при отжиге и нормализации:
отжиг I рода (1 — диффузионный отжиг; 2 — рекристаллизационный отжиг; 3 — отжиг для снятия напряжений). Отжиг II рода (4 — полный отжиг, 5 — неполный отжиг; 6 — нормализация)

ных сталей. Получается крупнозернистая структура, которая измельчается при последующем полном отжиге или нормализации;

— *рекристаллизационный отжиг*, который применяется для снятия наклепа после холодной пластической деформации. Температура нагрева чаще всего находится в пределах 650—700°С;

— *отжиг для снятия внутренних напряжений*. Применяют с целью уменьшения напряжений, образовавшихся в металле при литье, сварке, обработке резанием и т. д. Температура отжига находится в пределах 200—700°С, чаще 350—600°С.

Отжиг II рода (или фазовая перекристаллизация) может быть полным и неполным:

— *полный отжиг* — нагрев стали на 30–50° выше верхней критической точки (линия GS) с последующим медленным охлаждением. При этом отжиге происходит полная перекристаллизация: при нагреве феррито-перлитная структура переходит в аустенитную, а при охлаждении аустенит превращается обратно в феррит и перлит.

Полному отжигу подвергают отливки, поковки, прокат для измельчения зерна, снятия внутренних напряжений. При этом повышаются пластичность и вязкость.

— *неполный отжиг* отличается от полного тем, что сталь нагревают до более низкой температуры (на 30—50° выше температуры перлитного превращения). При этом произойдет перекристаллизации только перлитной составляющей. Это более экономичная операция, чем полный отжиг, так как нагрев производится до более низких температур.

При неполном отжиге улучшается обрабатываемость резанием в результате снижения твердости и повышения пластичности стали.

Изотермический отжиг заключается в нагреве и выдержке при температуре на 30—50° выше верхней критической точки, охлаждении до 600—700°С, выдержке при этой температуре до полного превращения аустенита в перлит и последующем охлаждении на воздухе. При таком отжиге уменьшается время охлаждения, улучшается обрабатываемость резанием. Применяется для легированных сталей.

Нормализация — разновидность отжига; при нормализации охлаждение проводится на спокойном воздухе. Скорость охлаждения несколько больше, чем при обычном отжиге, что определяет некоторое отличие свойств отожженной и нормализованной стали.

При нормализации сталь нагревают до аустенитного состояния (выше линии GSE). Благодаря полной фазовой перекристаллизации устраняется крупнозернистая структура, полученная при литье, прокатке или ковке. Охлаждение на воздухе, вне печи, снижает экономические затраты на термообработку. Нормализацию применяют для низкоуглеродистых сталей вместо отжига, а для среднеуглеродистых сталей вместо улучшения (закалка + высокий отпуск).

Закалка

Закалка — это термическая обработка, которая заключается в нагреве стали до температур, превышающих температуру фазовых превращений, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении со скоростью, превышающей критическую минимальную скорость охлаждения. Основной целью закалки является получение высокой твердости, упрочнение. В основе закалки лежит аустенитно-мартенситное превращение.

Оптимальный интервал закалочных температур углеродистой стали представлен на рис. 29.

В зависимости от температуры нагрева различают:

- *полную закалку*, при которой нагрев осуществляется в однофазную аустенитную область (на 30—50° выше линии GSE). При быстром охлаждении происходит полное превращение аустенита в мартенсит;
- *неполную закалку*, при которой нагрев осуществляется в двухфазную область (на 30—50° выше линии PSK, но ниже линии GSE) и при охлаждении формируется в доэвтекто-

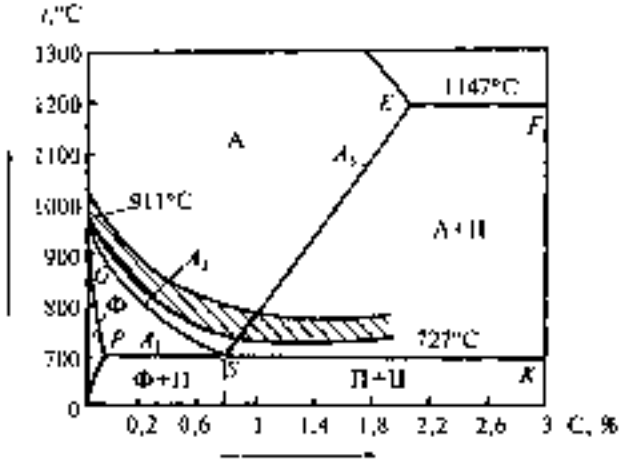


Рис. 29. Оптимальный интервал закалочных температур углеродистой стали

ных сталях феррито-мартенситная, а в заэвтектоидных сталях — мартенсито-цементитная структура.

На практике полную закалку применяют для доэвтектоидных сталей, неполную для заэвтектоидных сталей.

Температура нагрева под закалку легированных сталей обычно выше, чем для углеродистых. Диффузионные процессы в легированных сталях протекают медленнее, поэтому для них требуется более длительная выдержка. Нагрев легированных сталей до более высокой температуры и более длительная выдержка не сопровождается ростом зерна, так как легирующие элементы снижают склонность к росту зерна при нагреве. После закалки структура состоит из легированного мартенсита.

Для достижения максимальной твердости при закалке стремятся получать мартенситную структуру. Минимальная скорость охлаждения, необходимая для переохлаждения аустенита до мартенситного превращения, называется *критической скоростью закалки*. Скорость охлаждения определяется видом охлаждающей среды.

Обычно для закалки используют кипящие жидкости:

— воду;

— водные растворы солей и щелочей;

— масла.

Выбор конкретной закалочной среды определяется видом изделия. Например, воду с температурой 18—25°С используют в основном при закалке деталей простой формы и небольших размеров, выполненных из углеродистой стали. Детали более сложной формы из углеродистых и легированных сталей закаляют в маслах. Для закалки легированных сталей часто используют водные растворы NaCL и NaOH с наиболее высокой охлаждающей способностью. Для некоторых легированных сталей достаточная скорость охлаждения обеспечивается применением спокойного или сжатого воздуха.

Из-за пониженной теплопроводности легированных сталей их нагревают и охлаждают медленнее.

Важными характеристиками стали, необходимыми для назначения технологических режимов закалки, являются закаливаемость и прокаливаемость. *Закаливаемость* характеризует способ-

ность стали к повышению твердости при закалке и зависит главным образом от содержания углерода в стали. Закаливаемость оценивают по твердости поверхностного слоя стального образца после закалки.

Прокаливаемость характеризует способность стали закаливаться на требуемую глубину. Прокаливаемость оценивается по расстоянию от поверхности изделия до слоя, в котором содержится не менее 50 % мартенсита. Зависит прокаливаемость от критической скорости охлаждения: чем меньше критическая скорость закалки, тем выше прокаливаемость. На прокаливаемость оказывают влияние химический состав стали, характер закалочной среды, размер и форма изделия и многие другие факторы. Легирование стали способствует увеличению ее прокаливаемости. Прокаливаемость деталей из среднеуглеродистой стали при закалке в масле ниже, чем при закалке в воде. Прокаливаемость резко уменьшается с увеличением размеров заготовки.

При сквозной прокаливаемости по сечению изделия механические свойства одинаковы, при несквозной прокаливаемости в сердцевине наблюдается снижение прочности, пластичности и вязкости металла. Прокаливаемость является важной характеристикой стали и при выборе марки стали рассматривается наряду с ее механическими свойствами, технологичностью и себестоимостью.

Способы закалки стали:

— *закалка в одном охладителе*, при которой нагретая деталь погружается в охлаждающую жидкость и остается там до полного охлаждения. Наиболее простой способ. Недостаток — возникновение значительных внутренних напряжений. Закалочная среда — вода для углеродистых сталей сечением более 5 мм, масло — для деталей меньших размеров и легированных сталей;

— *закалка в двух средах*, при которой деталь до 300–400°С охлаждают в воде, а затем переносят в масло. Применяют для уменьшения внутренних напряжений при термообработке изделий из инструментальных высокоуглеродистых сталей. Недостаток — трудность регулирования выдержки деталей в первой среде;

— *ступенчатая закалка*, при которой деталь быстро охлаждается погружением в соляную ванну с температурой, немного превышающей температуру мартенситного превращения, выдерживается до достижения одинаковой температуры по всему сечению, а затем охлаждается на воздухе. Медленное охлаждение на воздухе снижает внутренние напряжения и возможность коробления. Недостаток — ограничение размера деталей;
— *изотермическая закалка*, при которой деталь выдерживается в соляной ванне до окончания изотермического превращения аустенита. Применяют для конструкционных легированных сталей. При такой закалке обеспечивается достаточно высокая твердость при сохранении повышенной пластичности и вязкости;
— *закалка с самоотпуском*, при которой в закалочной среде охлаждают только часть изделия, а теплота, сохранившаяся в остальной части детали после извлечения из среды, вызывает отпуск охлажденной части. Применяют для термообработки ударного инструмента типа зубил, молотков, которые должны сочетать высокую твердость и вязкость;
— *обработка холодом* состоит в продолжении охлаждения закаленной стали ниже 0°С до температур конца мартенситного превращения (обычно не ниже −75°С). В результате обработки холодом повышается твердость и стабилизируются размеры деталей. Наиболее распространенной является охлаждающая среда смеси ацетона с углекислотой.

Отпуск и искусственное старение

Отпуск — это заключительная операция термической обработки стали, которая заключается в нагреве ниже температуры перлитного превращения (727°С), выдержке и последующем охлаждении. При отпуске формируется окончательная структура стали. Цель отпуска — получение заданного комплекса механических свойств стали, а также полное или частичное устранение закалочных напряжений.

Различают следующие виды отпуска:

— *низкий отпуск* проводят при 150—200°С для снижения внутренних напряжений и некоторого уменьшения хрупкости мартенсита. Закаленная сталь после низкого отпуска имеет структуру отпущенного мартенсита, твердость ее почти не снижается, а прочность и вязкость повышаются. Низкий отпуск применяют для углеродистых и низколегированных сталей, из которых изготавливается режущий и измерительный инструмент, а также для машиностроительных деталей, которые должны обладать высокой твердостью и износостойкостью;

— *средний отпуск* проводят при 350—450°С для некоторого снижения твердости при значительном увеличении предела упругости. Структура стали представляет троостит отпуска, обеспечивающий высокие пределы прочности, упругости и выносливости, а также улучшение сопротивляемости действию ударных нагрузок. Этот отпуск применяют для пружин, рессор и для инструмента, который должен иметь значительную прочность и упругость при достаточной вязкости;

— *высокий отпуск* проводят при 440—650°С для достижения оптимального сочетания прочностных, пластических и вязких свойств. Структура стали представляет собой однородный сорбит отпуска с зернистым строением цементита. Высокий отпуск применяется для конструкционных сталей, детали из которых подвергаются действию высоких напряжений и ударным нагрузкам. Термическая обработка, состоящая из закалки с высоким отпуском (улучшение), является основным видом термической обработки конструкционных сталей.

Отпуск легированных сталей проводят при более высоких температурах, чтобы ускорить диффузию легирующих элементов. Все легирующие элементы, особенно хром, молибден, кремний, затрудняют процесс распада мартенсита при нагреве. Структура отпущенного мартенсита может сохраняться при 400—600°С.

При одинаковой температуре отпуска прочность и пластичность легированных сталей выше, чем углеродистых.

Искусственное старение — это отпуск при невысоком нагреве. При искусственном старении детали нагревают до температуры 120—150°С и выдерживают при ней в течение 10—35 часов. Длительная выдержка позволяет, не снижая твердости закаленной стали, стабилизировать размеры деталей.

Искусственное старение значительно ускоряет процессы, которые происходят при естественном старении. **Естественное старение** заключается в выдержке деталей и инструмента при комнатной температуре и длится три и более месяцев.

Термомеханическая и механотермическая обработка

Повысить комплекс механических свойств стали по сравнению с обычной термической обработкой позволяют методы, сочетающие термическую обработку с пластическим деформированием.

Термомеханическая обработка (ТМО) заключается в сочетании пластической деформации стали в аустенитном состоянии с закалкой. После закалки проводят низкотемпературный отпуск (рис. 30).

В зависимости от температуры, при которой сталь подвергают пластической деформации, различают два основных способа термомеханической обработки:

— *высокотемпературную* термомеханическую обработку (ВТМО), при которой деформируют сталь, нагретую до однофазного аустенитного состояния (выше линии GS на диаграмме железо—цементит). Степень деформации составляет 20—30 %. После деформации следует немедленная закалка (рис. 30, *а*);

— *низкотемпературную* термомеханическую обработку (НТМО), при которой сталь деформируют в области устойчивости переохлажденного аустенита (400—600°С); температура деформации ниже температуры рекристалли-

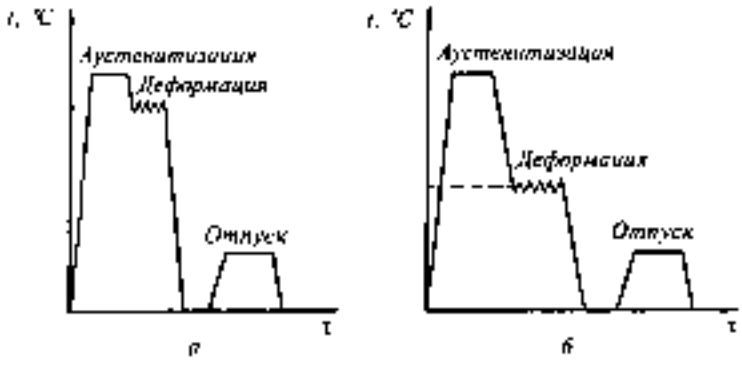


Рис. 30. Схема термомеханической обработки стали:
а – ВТМО; *б* – НТМО

зации, но выше температуры начала мартенситного превращения. Степень деформации составляет 75—95 %. Сразу после деформации проводят закалку (рис. 30, *б*).

В обоих случаях после закалки следует низкотемпературный отпуск (100—300°С).

Термомеханическая обработка позволяет получить очень высокую прочность при хорошей пластичности и вязкости. Наибольшее упрочнение достигается при НТМО, но проведение ее более сложно по сравнению с ВТМО, так как требуются более высокие усилия деформации. ВТМО более технологична, она обеспечивает большой запас пластичности и лучшую конструктивную прочность.

Механотермическая обработка, так же как и термомеханическая, сочетает закалку и деформирование, но имеет обратный порядок этих процессов: сначала сталь подвергают термической обработке, а затем деформируют. Одним из видов механотермической обработки является патентирование.

Патентирование заключается в термической обработке на троостит с последующей деформацией на 90—95 %. Такая обработка позволяет достичь предела прочности тонкой проволоки из высокоуглеродистой стали до 5000 МПа.

В практике механотермической обработки также используется деформирование образца на 3—5 % после мартенситного превращения, что позволяет повысить предел прочности на 10—20 %.

Поверхностная закалка

Поверхностная закалка – это термическая обработка, при которой закаливается только поверхностный слой изделия на заданную глубину, тогда как сердцевина изделия остается незакаленной. В результате поверхностный слой обладает высокой прочностью, а сердцевина изделия остается пластичной и вязкой, что обеспечивает высокую износостойкость и одновременно стойкость к динамическим нагрузкам.

В промышленности применяют следующие методы поверхностной закалки:

- закалку с индукционным нагревом токами высокой частоты при массовой обработке стальных изделий;
- газопламенную поверхностную закалку пламенем газовых или кислород-ацетиленовых горелок (температура пламени 2400—3000°С) для единичных крупных изделий;
- закалку в электролите для небольших деталей в массовом производстве;
- лазерную закалку, позволяющую существенно увеличить износостойкость, предел выносливости при изгибе и предел контактной выносливости.

Закалка с индукционным нагревом (нагрев **ТВЧ**) — наиболее распространенный способ поверхностной закалки.

Схема устройства для закалки с нагревом токами высокой частоты представлена на рис. 31. Деталь 1 помещают в индуктор 2, который представляет собой медные трубки с циркулирующей внутри водой для охлаждения. К индуктору подводят переменный электрический ток. Внутри индуктора возникает переменное магнитное поле. Магнитный поток индуцирует в металле изделия вихревые токи, вызывающие нагрев поверхности. Основное количество тепла выделяется в тонком поверхно-

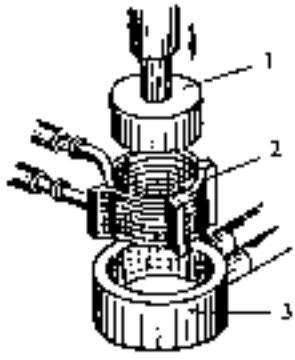


Рис. 31. Схема устройства для закалки с нагревом токами высокой частоты: 1 — закаливаемая деталь; 2 — индуктор; 3 — охладитель

стном слое. Глубина нагрева зависит от свойств металла и частоты тока. Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой.

После нагрева в индукторе деталь охлаждается с помощью специального охлаждающего устройства 3. Через имеющиеся в нем отверстия на поверхность детали разбрызгивается охлаждающая жидкость. Закаленные изделия подвергают отпуску при 160–200°С.

Преимущества поверхностной закалки ТВЧ:

— регулируемая глубина закаленного слоя;
— высокая производительность;
— возможность автоматизации;
— отсутствие обезуглероживания и окалинообразования;
— минимальное коробление детали.

Недостатком является высокая стоимость индуктора, индивидуального для каждой детали.

Поверхностную закалку применяют для углеродистых сталей, почти не содержащих около 0,4 % углерода, для легированных сталей ее почти не применяют. Высокочастотной закалке подвергают шейки коленчатых валов, гильзы цилиндров, поршневые пальцы, пальцы рессоры и т. д. Толщина упрочняемого слоя составляет 1,5—3 мм, если требуется только высокая износостойкость, и возрастает до 5–10 мм в случае высоких контактных нагрузок и возможной перешлифовки.

Химико-термическая обработка стали

Химико-термической обработкой называется тепловая обработка металлических изделий в химически активных средах для изменения химического состава, структуры и свойств поверхностных слоев. Химико-термическая обработка основана на диффузии атомов различных химических элементов в кристаллическую решетку железа при нагреве в среде, содержащей эти элементы.

Любой вид химико-термической обработки состоит из следующих процессов:

— *диссоциация* — распад молекул и образование активных атомов насыщенного элемента, протекает во внешней среде;
— *адсорбция* — поглощение (растворение) поверхностью металла свободных атомов, происходит на границе газ—металл;
— *диффузия* — перемещение атомов насыщающего элемента с поверхности вглубь металла.

Насыщающий элемент должен взаимодействовать с основным металлом, образуя твердые растворы или химические соединения, иначе процессы адсорбции и диффузии невозможны. Глубина проникновения диффундирующих атомов (толщина диффузионного слоя) зависит от состава стали, температуры и продолжительности насыщения.

Цементация — это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали углеродом. Целью цементации является получение твердой и износостойкой поверхности в сочетании с вязкой сердцевиной. Для этого поверхностный слой обогащают углеродом до концентрации 0,8—1,0 % и проводят закалку с низким отпуском.

Цементацию проводят при температурах 920—950°С, когда устойчив аустенит, растворяющий углерод в больших количествах. Для цементации используют низкоуглеродистые стали (0,1—0,3 % С), поэтому сердцевина стального изделия сохраняет вязкость. Толщина (глубина) цементированного слоя составляет 0,5—2,5 мм.

Структура слоя после цементации обычно получается крупнозернистой, так как выдержку проводят при высокой температуре. Для исправления структуры, измельчения зерна и повышения комплекса механических свойств поверхностного слоя проводят термообработку: закалку (820—850°С) и низкий отпуск (150—170°С).

После термической обработки структура поверхностного слоя представляет собой мартенсит или мартенсит с небольшим количеством карбидов (твердость HRC 60 -64). Структура сердцевины деталей из углеродистых сталей — феррит и перлит; из легированных сталей — низкоуглеродистый мартенсит, троостит или сорбит (твердость HRC 20—40) в зависимости от марки стали и размеров изделия.

Науглероживающей средой при цементации служат:

- твердые карбюризаторы (науглероживающие вещества), в качестве которых применяют смесь древесного угля с углекислым барием, кальцием и натрием;
- жидкие соляные ванны, в состав которых входят поваренная соль, углекислый натрий, цианистый натрий и хлористый барий;
- газы, содержащие углерод (природный, светильный и др.). Газовая цементация является основным процессом для массового производства.

Цементируют детали, работающие в условиях трения, при больших давлениях и циклических нагрузках, например, шестерни, поршневые пальцы, распределительные валы и др.

Азотирование — это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом для придания этому слою высокой твердости, износостойкости и устойчивости против коррозии.

Процесс азотирования состоит в выдержке в течение довольно длительного времени (до 60 часов) деталей в атмосфере аммиака при температуре 500—600°С. Аммиак при нагреве разлагается на азот и водород:

$$NH_3 \rightarrow 3H + N.$$

Активные атомы азота проникают в решетку железа и диффундируют в ней. При этом образуются нитриды железа, но они

не обеспечивают достаточной твердости. Высокую твердость азотированному слою придают нитриды легирующих элементов, таких как хром, молибден, алюминий, титан.

Поэтому азотированию подвергают легированные стали, содержащие указанные элементы. Углеродистые стали подвергают только антикоррозионному азотированию.

Азотированию подвергают готовые изделия, уже прошедшие механическую и окончательную термическую обработку (закалку с высоким отпуском). Они имеют высокую прочность и вязкость, которые сохраняются в сердцевине детали и после азотирования. Высокая прочность металлической основы необходима для того, чтобы тонкий и хрупкий азотированный слой не продавливался при работе детали. Глубина азотированного слоя составляет 0,3—0,6 мм. Высокая твердость поверхностного слоя достигается сразу после азотирования и не требует последующей термической обработки.

Преимущества азотирования по сравнению с цементацией:

- более высокая твердость и износостойкость поверхностного слоя;
- сохранение высоких свойств поверхностного слоя при нагреве до 400—600°С;
- высокие коррозионные свойства;
- после азотирования не требуется закалка.

Недостатки азотирования по сравнению с цементацией:

- более высокая длительность процесса;
- применение дорогостоящих легированных сталей.

Поэтому азотирование применяют для более ответственных деталей, от которых требуется особо высокое качество поверхностного слоя. Азотированию подвергают детали автомобилей: шестерни, коленчатые валы, гильзы, цилиндры и др.

Цианирование (нитроцементация) — это процесс совместного насыщения поверхности стальных изделий азотом и углеродом. Основной целью цианирования является повышение твердости и износостойкости деталей.

Цианирование может производиться:

- в расплавленных солях, содержащих цианистый натрий NaCN или цианистый калий KCN, либо

— в газовой среде (нитроцементация), состоящей из эндотермического газа с добавлением природного газа и аммиака.

Состав и свойства цианированного слоя зависят от температуры проведения цианирования. С повышением температуры содержание азота в слое уменьшается, а углерода увеличивается.

В зависимости от температуры процесса различают:

— высокотемпературное цианирование. Проводится при 850—950°С. После цианирования детали охлаждают на воздухе, а затем подвергают закалке и низкому отпуску. Применяют для деталей из низко- и среднеуглеродистых, а также легированных сталей;

— низкотемпературное цианирование. Температура цианирования 500—600°С. Поверхностный слой насыщается преимущественно азотом. Применяют для деталей из среднеуглеродистых сталей и инструмента из быстрорежущей стали.

Преимущества цианирования по сравнению с цементацией:

— более высокая твердость и износостойкость цианированного слоя;

— более высокое сопротивление коррозии;

— меньше деформация и коробление деталей сложной формы;

— выше производительность.

Недостатки цианирования по сравнению с цементацией:

— высокая стоимость;

— высокая токсичность цианистых солей.

Цианирование широко применяют в тракторном и автомобильном производстве.

Диффузионная металлизация — это процесс диффузионного насыщения поверхностных слоев стали различными металлами (алюминием, хромом, кремнием, бором). После диффузионной металлизации детали приобретают ряд ценных свойств, например, жаростойкость, окалиностойкость и др.

Диффузионная металлизация может проводиться:

— в твердой среде; металлизатором является ферросплав (феррохром, ферросилиций и т. д.) с добавлением хлористого аммония (NH_4Cl);

— в расплавленном металле с низкой температурой плавления (цинк, алюминий), которую проводят погружением детали в расплав;
— в газовой среде, содержащей хлориды различных металлов. При твердой и газовой металлизации насыщение происходит с помощью летучих соединений хлора с металлом $AlCl_3$, $SiCl_4$ и др., которые при 1000—1100°С вступают в обменную реакцию с железом с образованием активного диффундирующего атома металла.

Алитирование — это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя алюминием. Проводится в порошкообразных смесях или расплавленном алюминии. Толщина алитированного слоя составляет 0,2—1,0 мм; концентрация алюминия в нем до 30 %. Алитирование применяют для повышения коррозионной стойкости и жаростойкости деталей из углеродистых сталей, работающих при высокой температуре.

Хромирование — это процесс диффузионного насыщения поверхности хромом. Толщина слоя составляет 0,2 мм. Хромирование используют для изделий из сталей любых марок. При хромировании обеспечивается высокая стойкость против газовой коррозии до 800°С, окалиностойкость и износостойкость деталей в агрессивных средах (морская вода, кислоты).

Силицирование — это процесс диффузионного насыщения поверхности кремнием. Толщина слоя составляет 0,3—1,0 мм. Силицирование обеспечивает наряду с повышенной износостойкостью высокую коррозионную стойкость стальных изделий в кислотах и морской воде. Применяется для деталей, используемых в химической и нефтяной промышленности.

Борирование — это процесс диффузионного насыщения поверхности бором. Толщина борированного слоя достигает 0,4 мм. Борирование придает поверхностному слою исключительно высокую твердость, износостойкость и устойчивость против коррозии в различных средах.

Дефекты и брак при термической обработке

При термической обработке могут возникнуть дефекты, связанные как с режимом и технологией ее проведения, так и с особенностями конструкции изделия. Одни виды дефектов неисправимы (трещины, пережог), другие можно устранить последующими операциями механической или термической обработки.

При отжиге и нормализации могут появиться следующие дефекты:

— *коррозия* – окисление металла при взаимодействии поверхности стальных деталей с печными газами. При этом образуется окалина, повреждается поверхность детали, что затрудняет обработку металла режущим инструментом. Окалину удаляют травлением в растворе серной кислоты, очисткой в пробеструйных установках или галтовочных барабанах;

— *обезуглероживание* – выгорание углерода с поверхности детали, происходит при окислении стали. Приводит к резкому снижению прочности, может вызвать образование закалочных трещин и коробление. Для предохранения деталей от окисления и обезуглероживания при отжиге, нормализации и закалке в рабочее пространство печи вводят безокислительные (защитные) газы;

— *перегрев* — образование крупнозернистой структуры стали при нагреве выше определенных температур и длительной выдержке. Перегрев ведет к понижению пластичности, образованию трещин при закалке. Исправляется повторным отжигом или нормализацией;

— *пережог* может возникнуть в результате нагрева при еще более высоких температурах и длительной выдержке металла при высокой температуре в окислительной атмосфере печи. Пережог сопровождается окислением и частичным оплавлением границ зерен. Металл становится хрупким. Пережог является неисправимым браком.

В процессе закалки могут возникнуть следующие дефекты:

- *закалочные трещины* (наружные или внутренние) образуются вследствие высоких внутренних напряжений и являются неисправимым браком. Трещины возникают при неправильном нагреве (перегреве) и большой скорости охлаждения деталей, а также если в изделии имеются резкие переходы от тонких сечений к толстым, выступы, заостренные углы и т. п.;
- *деформация* — изменение формы и размеров изделия, происходит в результате внутренних напряжений, вызванных неравномерным охлаждением и фазовыми превращениями;
- *коробление* — несимметричная деформация изделий. Коробление может происходить вследствие причин, вызывающих деформацию, а также при неправильном положении детали при погружении ее в закалочную среду;
- *мягкие пятна* — участки на поверхности инструмента с пониженной твердостью. Образуются в местах, где имелись окалина, загрязнения, участки с обезуглероженной поверхностью, а также при недостаточно быстром движении деталей в закалочной среде;
- *низкая твердость* инструмента является следствием недогрева, недостаточной выдержки или недостаточно быстрого охлаждения в закалочной среде. Для исправления такого дефекта деталь подвергают высокому отпуску и повторной закалке;
- *перегрев* и *недогрев* под закалку приводят к снижению механических свойств. Исправляют эти дефекты отжигом, после которого снова проводят закалку;
- *окисление* и *обезуглероживание* поверхности изделия предупреждается строгим соблюдением режима термической обработки и нагревом в среде нейтральных газов (азот, аргон).

Контрольные вопросы

1. *Что называется отжигом стали?*
2. *Что называется закалкой сталей?*
3. *Назовите способы закалки сталей.*
4. *Что называется отпуском стали?*
5. *В чем заключается термомеханическая обработка стали?*
6. *Какие свойства обеспечивает поверхностная закалка сталей?*
7. *Назовите виды химико-термической обработки сталей.*
8. *Какие виды брака изделий могут возникнуть в результате нарушения технологии термической обработки сталей?*

Глава 4

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Многие цветные металлы и их сплавы обладают рядом ценных свойств: хорошей пластичностью, вязкостью, высокой электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью и другими достоинствами. Благодаря этим качествам цветные металлы и их сплавы занимают важное место среди конструкционных материалов.

Из цветных металлов в автомобилестроении в чистом виде и в виде сплавов широко используются алюминий, медь, свинец, олово, магний, цинк, титан.

Производство цветных металлов и сплавов

Железо и его сплавы — чугун и сталь — называют черными металлами. Все остальные металлы относятся к категории цветных, в том числе и благородные металлы — золото, серебро, платина.

Разнообразие цветных металлов и обусловило разные методы их получения.

Как и черные металлы, цветные получают из рудного концентрата — предварительно обогащенной руды. Но здесь процесс обогащения сложнее, поскольку многие руды являются полиметаллическими и содержат массу сопутствующих как ценных элементов, так и вредных примесей. Например, среднее содержание меди в рудах составляет всего 1–2 %.

Сложность получения цветных металлов хорошо видна на примере меди.

Извлечение меди из руд производится двумя способами: гидрометаллургическим и пирометаллургическим. Более широкое применение получил *пирометаллургический способ*, включающий следующие операции:

— обогащение руд с получением концентрата;
— обжиг концентрата;
— плавку на медный штейн-сплав;
— получение черновой меди;
— рафинирование.

После обогащения рудные концентраты подвергают *обжигу* для частичного удаления (до 50 %) серы. Руда, прошедшая обжиг, направляется на дальнейшую переработку, а образовавшийся сернистый газ SO_2 используется для производства серной кислоты.

Плавка на штейн проводится в отражательных пламенных печах и электропечах. В их рабочем пространстве развивается температура до 1600°С. На поддоне печи постепенно скапливаются жидкие продукты плавки: шлак и штейн-сплав, состоящий, в основном, из сульфидов меди и железа, а также небольшого количества примесей. Штейн по мере накопления выпускают в ковш. В расплавленном состоянии штейн подают в конвертер (рис. 32) для *переработки в черновую медь*. На по-

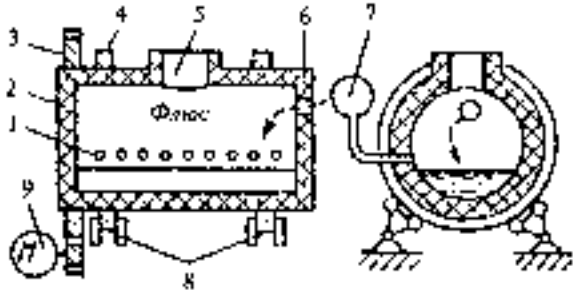


Рис. 32. Медеплавильный конвертер:

1 — фурмы воздушного дутья; 2 — футерованный кожух; 3 — зубчатая передача; 4 — обод; 5 — горловина для заливки штейна; 6 — отверстие для загрузки флюса; 7 — воздухопровод; 8 — опорные ролики; 9 — электродвигатель с редуктором

верхность штейна загружают кварцевый песок для шлакования при продувке воздухом оксидов железа. Образовавшийся шлак сливают и направляют на повторную переработку в отражательные печи для извлечения меди. Оставшийся штейн приобретает белый цвет и состоит в основном из сульфидов меди. Содержание меди в белом штейне составляет около 80 %. После чего расплавленный белый штейн продувают воздухом и получают *черновую медь*, которая содержит до 2 % примесей железа, серы, цинка, никеля, свинца и др. Ее разливают в слитки и отправляют на рафинирование.

Рафинирование черновой меди проводят огневым и электролитическим способами.

При огневом рафинировании черновую медь загружают в пламенные печи и после расплавления продувают воздухом с целью окисления меди и растворенных в ней примесей. Образовавшиеся оксиды примесей нерастворимы в меди и удаляются в шлак. Затем металл раскисляют и перемешивают природным газом для удаления растворенных в нем газов.

После огневого рафинирования расплав содержит 99,5—99,7 % меди. Полученную медь разливают в слитки или анодные пластины для электролитического рафинирования.

Электролиз меди проводят в ваннах, футерованными кислотостойкими материалами, например, листовым свинцом, асфальтом, керамическими плитами. Электролитом служит 15 %-ный раствор медного купороса в серной кислоте. В электролит погружают анодные пластины черновой меди и катоды, представляющие собой тонкие листы из чистой электролитической меди. При включении постоянного тока происходит растворение металла анодов, а на катоде происходит осаждение металлической меди. Электролитическая медь имеет более высокую чистоту от примесей и содержит до 99,98 % Cu.

Катодную медь переплавляют в плавильных печах, разливают в слитки и отправляют для проката на лист, трубы и проволоку, а также для выплавки сплавов меди — латуней и бронз.

Производство алюминия. Алюминий является самым распространенным металлом в земной коре. Он преимущественно встречается в виде соединений с кислородом и кремнием —

алюмосиликатов. Для получения алюминия используют руды, богатые глиноземом Al_2O_3 (бокситы).

Технологический процесс производства алюминия состоит из этапов:

- извлечение глинозема из алюминиевых руд;
- электролиз расплавленного глинозема с получением первичного алюминия;
- рафинирование.

Алюминий получают электролизом глинозема, растворенного в расплавленном криолите. Криолит образуется в результате взаимодействия плавиковой кислоты с гидроксидом алюминия с последующей нейтрализацией содой.

Электролиз осуществляют в алюминиевой ванне — электролизере (рис. 33). Ванна имеет стальной кожух, стены и подину которой изготовляют из угольных блоков, теплоизолированных

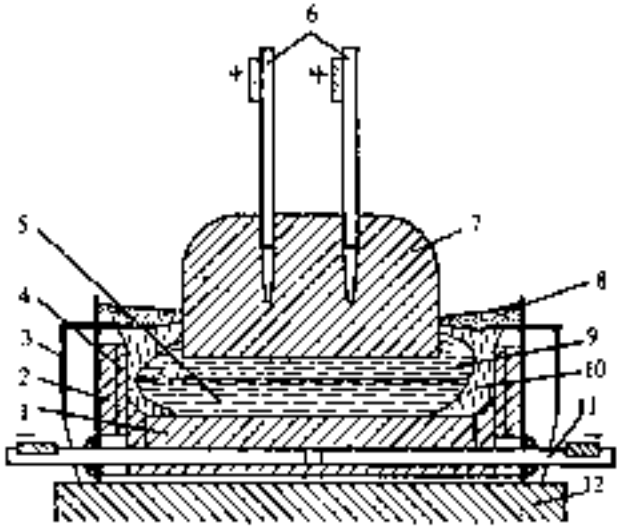


Рис. 30. Схема электролиза для производства алюминия:
1 — катодные угольные блоки; 2 — огнеупорная футеровка; 3 — стальной кожух; 4 — угольные плиты; 5 — жидкий алюминий; 6 — металлические стержни с шинами; 7 — угольный анод; 8 — глинозем; 9 — жидкий электролит; 10 — корка затвердевшего электролита; 11 — катодная токоподводящая шина; 12 — фундамент

шамотным кирпичом. Угольный корпус ванны является катодом электролизера. Анодами служат угольные электроды, вертикально погруженные в расплав. Электролит нагревается до рабочей температуры протекающим током. Глинозем, расходуемый в процессе электролиза, периодически загружается в ванну сверху. Жидкий алюминий скапливается на подине электролизера и периодически удаляется с помощью специальных ковшей.

Первичный алюминий, полученный в электролизной ванне, загрязнен примесями Si, Fe, неметаллическими включениями, а также газами (преимущественно водородом). Для очистки алюминия его подвергают рафинированию. Наиболее чистый алюминий получают электролитическим рафинированием с чистотой до 99,996 %, который потребляется электрической, химической и пищевой промышленностью.

Производство магния. Сырьем для производства магния являются магнезит, доломит и карналлит.

Существует два способа получения металлического магния: термический и электролитический.

Более распространен электролитический способ производства металлического магния. Он состоит из двух основных процессов: получения хлористого магния из исходного сырья и его электролиза.

Хлористый магний получают обжигом магнезита или доломита и хлорированием образовавшегося оксида магния при 800—900°С в присутствии восстановителя (углерода). Электролиз расплавленного хлорида магния производится в электролизерах.

Как и при электролизе глинозема, электрический ток, проходя через электролит, нагревает его и осуществляет электрохимический процесс. Плотность магния меньше плотности электролита, поэтому магний всплывает и скапливается на поверхности ванны. Расплавленный магний периодически удаляют с помощью специальных ковшей.

После электролиза магний подвергают рафинированию, которое осуществляют переплавкой в тигельных печах с флюсами. Рафинированный металл, содержащий не менее 99,9 % магния, разливается в чушки. При разливке струя магния предохраня-

ется от соприкосновения с воздухом путем опыления порошком серы.

Производство титана. Из-за высокого сродства к кислороду прямое восстановление титана из его оксидов представляет большие трудности.

Процесс получения технического титана состоит из:

— обогащения руды и получения диоксида титана;
— получения четыреххлористого титана;
— восстановления титана и получения титановой губки;
— переплавки титановой губки в слитки.

Основными исходными рудами для производства титана являются ильменит и рутил. Перед переработкой руды обогащают обычными методами (флотацией, магнитной сепарацией и др.).

Восстановление титана производят обычно с помощью магния в специальных реакторах. Восстановленный титан выделяется на стенках реактора в виде губчатой массы, пропитанной хлористым магнием и магнием.

Для рафинирования губчатой массы ее вакуумируют при температуре 900 -950°С и проводят отгонку паров примесей магния и хлористого магния. После охлаждения извлекают титановую губку.

Переплав титановой губки в слитки производят в вакуумных электрических дуговых печах. Во избежание загрязнения титана примесями плавку ведут в водоохлаждаемой медной изложнице. Для улучшения качества металла производят двойную переплавку.

Алюминий и его сплавы

Алюминий — металл серебристо-белого цвета, характеризуется низкой плотностью 2,7 г/см^3, высокой электропроводностью, температура плавления 660°С. Механические свойства алюминия невысокие, поэтому в чистом виде как конструкционный материал применяется ограниченно.

Для повышения физико-механических и технологических свойств алюминий легируют различными элементами (Cu, Mg,

Si, Zn). Железо и кремний являются постоянными примесями алюминия. Железо вызывает снижение пластичности и электропроводности алюминия. Кремний, как и медь, магний, цинк, марганец, никель и хром, относится к легирующим добавкам, упрочняющим алюминий.

В зависимости от содержания постоянных примесей различают:

- алюминий особой чистоты марки А 999 (0,001 % примесей);
- алюминий высокой чистоты - А 935, А 99, А 97, А 95 (0,005—0,5 % примесей);
- технический алюминий — А 85, А 8, А 7, А 5, А 0 (0,15—0,5 % примесей).

Технический алюминий выпускают в виде полуфабрикатов для дальнейшей переработки в изделия. Алюминий высокой чистоты применяют для изготовления фольги, токопроводящих и кабельных изделий.

В автомобилестроении широкое применение получили сплавы на основе алюминия. Они классифицируются:

- по технологии изготовления;
- по степени упрочнения после термической обработки;
- по эксплуатационным свойствам.

Деформируемые сплавы

К *неупрочняемым термической обработкой* относятся сплавы:

- алюминия с марганцем марки АМц;
- алюминия с магнием марок АМг, АМг3, АМг5В, АМг5П, АМг6.

Эти сплавы обладают высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, хорошо штампуются и свариваются, но имеют невысокую прочность. Из них изготовляют бензиновые баки, проволоку, заклепки, а также сварные резервуары для жидкостей и газов, детали вагонов.

В группе деформируемых алюминиевых сплавов, *упрочняемых термической обработкой*, различают сплавы:

- нормальной прочности;
- высокопрочные сплавы;
- жаропрочные сплавы;

— сплавы для ковки и штамповки.

Сплавы нормальной прочности. К ним относятся сплавы системы Алюминий – Медь + Магний *(дюралюмины)*, которые маркируются буквой «Д». Дюралюмины (Д1, Д16, Д18) характеризуются высокой прочностью, достаточной твердостью и вязкостью. Для упрочнения сплавов применяют закалку с последующим охлаждением в воде. Закаленные дюралюмины подвергаются старению, что способствует увеличению их коррозионной стойкости.

Дюралюмины широко используются в авиастроении: из сплава Д1 изготовляют лопасти винтов, из Д16 — несущие элементы фюзеляжей самолетов, сплав Д18 – один из основных заклепочных материалов.

Высокопрочные сплавы алюминия (В93, В95, В96) относятся к системе Алюминий + Цинк + Магний + + Медь. В качестве легирующих добавок используют марганец и хром, которые увеличивают коррозионную стойкость и эффект старения сплава. Для достижения требуемых прочностных свойств сплавы закаливают с последующим старением.

Высокопрочные сплавы по своим прочностным показателям превосходят дюралюмины, однако менее пластичны и более чувствительны к концентраторам напряжений (надрезам). Из этих сплавов изготовляют высоконагруженные наружные конструкции в авиастроении — детали каркасов, шасси и обшивки.

Жаропрочные сплавы алюминия (АК 4—1, Д 20) имеют сложный химический состав, легированы железом, никелем, медью и другими элементами. Жаропрочность сплавам придает легирование, замедляющее диффузионные процессы.

Детали из жаропрочных сплавов используются после закалки и искусственного старения и могут эксплуатироваться при температуре до 300°С.

Сплавы для ковки и штамповки (АК2, АК4, АК6, АК8) относятся к системе Алюминий + Медь + Магний с добавками кремния. Сплавы применяют после закалки и старения для изготовления средненагруженных деталей сложной формы (АК 6) и высоконагруженных штампованных деталей — поршни, лопасти винтов, крыльчатки насосов и др.

Литейные сплавы. Для изготовления деталей методом литья применяют алюминиевые сплавы систем Al-Si, Al-Cu, Al-Mg. Для улучшения механических свойств сплавы легируют титаном, бором, ванадием. Главным достоинством литейных сплавов являются высокая жидкотекучесть, небольшая усадка, хорошие механические свойства.

Применяют следующие виды термической обработки литейных алюминиевых сплавов:

— *искусственное старение*: для улучшения прочности и обработки резанием;
— *отжиг с охлаждением на воздухе*. для снятия литейных и остаточных напряжений и повышения пластичности;
— *закалка и естественное (или искусственное) старение*: для повышения прочности;
— *закалка и смягчающий отпуск*: для повышения пластичности и стабильности размеров.

Сплавы алюминия с кремнием (силумины) получили наибольшее распространение среди алюминиевых литейных сплавов в силу своих высоких литейных свойств и хороших механических и технологических характеристик. Силумины (марок АЛ2, АЛ4, АЛ9) обладают высокой жидкотекучестью, хорошей герметичностью, достаточной прочностью, хорошо обрабатываются резанием, легко свариваются, сопротивляются коррозии и устойчивы к образованию горячих трещин.

Сплав АЛ2 применяется для изготовления тонкостенных деталей сложной формы при литье в землю: корпуса агрегатов и приборов.

Сплав АЛ4 — высоконагруженные детали ответственного назначения: корпуса компрессоров, блоки двигателей, поршни цилиндров и др.

Сплав АЛ9 – изготовление деталей средней нагруженности, но сложной конфигурации, а также для деталей, подвергающихся сварке.

Сплавы алюминия с магнием (магналины) — АЛ8, АЛ13, АЛ27, АЛ29 обладают наиболее высокой коррозионной стойкостью и более высокими механическими свойствами после термической

обработки по сравнению с другими алюминиевыми сплавами, но литейные свойства их низкие.

Сплавы АЛ8 и АЛ13 являются наиболее распространенными, из них изготовляют подверженные коррозионным воздействиям детали морских судов, а также детали, работающие при высоких температурах (головки цилиндров мощных двигателей воздушного охлаждения).

Сплавы алюминия с медью — АЛ7, АЛ12, АЛ19 обладают невысокими литейными свойствами и пониженной коррозионной стойкостью, но высокими механическими свойствами.

Сплав АЛ7 применяют для изготовления отливок несложной формы, работающих с большими напряжениями (головки цилиндров маломощных двигателей воздушного охлаждения).

Сплавы алюминия, меди и кремния — АЛ3, АЛ4, АЛ6 характеризуются хорошими литейными свойствами, но коррозионная стойкость их невысокая.

Сплав АЛ3 широко применяют для изготовления отливок корпусов, арматуры и мелких деталей.

Сплав АЛ4 используется для отливок ответственных деталей, требующих повышенной теплоустойчивости и твердости.

Сплав АЛ6 применяют для отливок корпусов карбюраторов и арматуры бензиновых двигателей.

Сплавы алюминия, цинка и кремния — типичный представитель сплав АЛ11 (цинковый силумин), обладающий высокими литейными свойствами, а для повышения механических свойств подвергающийся модифицированию. Используется для изготовления отливок сложной формы — картеров, блоков двигателей внутреннего сгорания.

Подшипниковые сплавы. Наибольшее применение из алюминиевых подшипниковых материалов получил сплав АСМ. По антифрикционным свойствам он близок к свинцовой бронзе, но превосходит ее по коррозионной стойкости и технологичности.

Сплав АСС-6-5 содержит в своем составе 5 % свинца, что придает ему высокие противозадирные свойства. Подшипники скольжения из сплавов АСМ и АСС-6-5 применяют взамен бронзовых в дизельных двигателях.

Из алюминиевых сплавов, легированных оловом, изготовляют тяжелонагруженные подшипники скольжения в автомобилестроении, а также в судовом и общем машиностроении.

Алюминиевые сплавы характеризуются более высоким коэффициентом теплового расширения, чем чугуны и стали. Поэтому подшипники из алюминиевых сплавов ограниченно применяются в практике машиностроения. Более широкое распространение получили *биметаллические материалы*, представляющие собой слой алюминиевого сплава, нанесенный на стальное основание. Такие биметаллы обеспечивают надежную работу узлов трения при больших нагрузках (20—30 МПа) и высоких скоростях скольжения (до 20 м/с).

Спеченные металлы. Материалы на основе алюминия, полученные методами порошковой металлургии, обладают по сравнению с литейными сплавами более высокой прочностью, стабильностью свойств при повышенных температурах и коррозионной стойкостью.

Материалы из *спеченных алюминиевых порошков* (САП) состоят из мельчайших частичек алюминия и его оксида Al_2O_3. Порошок для спекания получают из технически чистого алюминия, распылением с последующим измельчением гранул в шаровых мельницах.

Технологический процесс получения изделий из САП состоит из операций изготовления заготовок и последующей механической обработки. Заготовки получают брикетированием (холодным или с подогревом) порошка с последующим спеканием при 590—620°С и давлениях 260 -400 МПа.

По стойкости к воздействию температуры материалы из САП превосходят жаропрочный алюминиевый сплав ВД17.

Спеченные алюминиевые порошки (марок САП-1 — САП-4) применяют для изготовления деталей повышенной прочности и коррозионной стойкости, эксплуатируемых при рабочих температурах до 500°С.

Спеченные алюминиевые сплавы (САС) получают из порошков алюминия с небольшим содержанием Al_2O_3, легированных железом, никелем, хромом, марганцем, медью и другими элементами.

Представителем этой группы материалов является САС-1, содержащий 25—30 % Si и 7 % Ni, применяемый взамен более тяжелых материалов в приборо- и машиностроении.

Медь и ее сплавы

Медь в чистом виде имеет красный цвет; чем больше в ней примесей, тем грубее и темнее излом. Температура плавления меди 1083°С, плотность — 8,92 г/см^3.

Выпускают медь следующих марок:

— катодная — М0к, МООк, МОку, М1к;

— бескислородная — МООб, МОб, М1б;

— катодная переплавленная — М1у;

— раскисленная — М1р, М2р, М3р, М3.

Примеси оказывают существенное влияние на физико-механические характеристики меди. По содержанию примесей различают марки *меди:*

МОО (99,99 % Cu), МО (99,95 % Cu), М1 (99,9 % Cu), М2 (99,7 % Cu), М3 (99,50 % Cu).

Главными достоинствами меди как машиностроительного материала являются высокие тепло- и электропроводность, пластичность, коррозионная стойкость в сочетании с достаточно высокими механическими свойствами. К недостаткам меди относят низкие литейные свойства и плохую обрабатываемость резанием.

Легирование меди осуществляется с целью придания сплаву требуемых механических, технологических, антифрикционных и других свойств. Химические элементы, используемые при легировании, обозначают в марках медных сплавов следующими индексами:

А — алюминий; Вм — вольфрам; Ви — висмут; В — ванадий, Км — кадмий; Гл — галлий; Г — германий; Ж — железо; Зл — золото; К — кобальт; Кр — кремний; Мг — магний; Мц — марганец; М — медь; Мш — мышьяк; Н — никель; О — олово; С — свинец; Сн — селен; Ср — серебро; Су — сурьма; Ти — титан; Ф — фосфор; Ц — цинк.

Медные сплавы классифицируют:

по *химическому составу* на:

— латуни;

— бронзы;

— мельхиоровые сплавы;

по *технологическому назначению* на:

— деформируемые;

— литейные;

по *изменению прочности после термической обработки* на:

— упрочняемые;

— неупрочняемые.

Латуни – сплавы меди, в которых главным легирующим элементом является цинк. В зависимости от содержания легирующих компонентов различают:

— *простые* (двойные) латуни;

— *многокомпонентные* (легированные) латуни.

Простые *латуни маркируют* буквой «Л» и цифрами, показывающими среднее содержание меди в сплаве. Например, сплав Л 90 — латунь, содержащая 90 % меди, остальное — цинк.

В марках легированных латуней группы букв и цифр, стоящих после них, обозначают легирующие элементы и их содержание в процентах. Например, сплав ЛАН КМц 75-2-2,5-0,5-0,5 — латунь алюминиевоникелькремнистомарганцевая, содержащая 75 % меди, 2 % алюминия, 2,5 % никеля, 0,5 % кремния, 0,5 % марганца, остальное — цинк.

В зависимости от основного легирующего элемента различают алюминиевые, кремнистые, марганцевые, никелевые, оловянистые, свинцовые и другие латуни.

Алюминиевые латуни — ЛА 85-0,6, ЛА 77-2, ЛАМш 77-2-0,05 обладают повышенными механическими свойствами и коррозионной стойкостью.

Кремнистые латуни — ЛК 80-3, ЛКС 65-1,5-3 и другие отличаются высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в морской воде, а также высокими механическими свойствами.

Марганцевые латуни — ЛМц 58-2, ЛМцА 57-3-1, деформируемые в горячем и холодном состоянии, обладают высокими ме-

ханическими свойствами, стойкие к коррозии в морской воде и перегретом паре.

Никелевые латуни — ЛН 65-5 и другие имеют высокие механические свойства, хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии.

Оловянистые латуни — ЛО 90-1, ЛО 70-1, ЛО 62-1 отличаются повышенными антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью, хорошо обрабатываются.

Свинцовые латуни — ЛС 63-3, ЛС 74-3, ЛС 60-1 характеризуются повышенными антифрикционными свойствами и хорошо обрабатываются резанием. Свинец в этих сплавах присутствует в виде самостоятельной фазы, практически не изменяющей структуры сплава.

Бронзы — это сплавы меди с оловом и другими элементами (алюминий, кремний, марганец, свинец, бериллий). В зависимости от содержания основных компонентов, бронзы можно условно разделить на:

— *оловянные*, главным легирующим элементом которых является олово;

— *безоловянные (специальные)*, не содержащие олова.

Бронзы маркируют буквами «Бр», правее ставятся буквенные индексы элементов, входящих в состав. Затем следуют цифры, обозначающие среднее содержание элементов в процентах (цифру, обозначающую содержание меди в бронзе, не ставят). Например, сплав марки БрОЦС 5-5-5 означает, что бронза содержит олова, свинца и цинка по 5 %, остальное — медь (85 %).

Оловянные бронзы обладают высокими антифрикционными свойствами, нечувствительны к перегреву, морозостойки, немагнитны.

Для улучшения качества оловянные бронзы легируют цинком, свинцом, никелем, фосфором и другими элементами. Легирование фосфором повышает механические, технологические, антифрикционные свойства оловянных бронз. Введение никеля способствует повышению механических и противокоррозионных свойств. При легировании свинцом увеличивается плотность бронз, улучшаются их антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием, однако заметно снижаются меха-

нические свойства. Легирование цинком улучшает технологические свойства. Введение железа (до 0,09 %) способствует повышению механических свойств бронз, однако с увеличением степени легирования резко снижаются их коррозионная стойкость и технологические свойства.

В зависимости от технологии переработки оловянные и специальные бронзы подразделяют на:

— деформируемые;
- литейные;
— специальные.

Деформируемые оловянные бронзы содержат до 8 % олова. Эти бронзы используют для изготовления пружин, мембран и других деформируемых деталей. Литейные бронзы содержат свыше 6 % олова, обладают высокими антифрикционными свойствами и достаточной прочностью; их используют для изготовления ответственных узлов трения (вкладыши подшипников скольжения).

Специальные бронзы включают в свой состав алюминий, никель, кремний, железо, бериллий, хром, свинец и другие элементы. В большинстве случаев название бронзы определяется основным легирующим компонентом.

Алюминиевые бронзы обладают высокими механическими, антифрикционными и противокоррозионными свойствами. Эти бронзы нашли применение для изготовления ответственных деталей машин, работающих при интенсивном изнашивании и повышенных температурах.

Кремнистые бронзы характеризуются высокими антифрикционными и упругими свойствами, коррозионной стойкостью. Дополнительное легирование кремнистых бронз другими элементами способствует улучшению эксплуатационных и технологических свойств бронз: цинк повышает их литейные свойства, марганец и никель улучшают коррозионную стойкость и прочность, свинец — обрабатываемость резанием и антифрикционные свойства. Кремнистые бронзы применяют взамен оловянных для изготовления антифрикционных деталей, пружин, мембран приборов и оборудования.

Свинцовые бронзы используют в парах трения, эксплуатируемых при высоких относительных скоростях перемещения деталей. Для повышения механических свойств и коррозионной стойкости свинцовые бронзы легируют никелем и оловом.

Бериллиевые бронзы отличаются высокими прочностными свойствами, износостойкостью и стойкостью к воздействию коррозионных сред. Они обеспечивают работоспособность изделий при повышенных температурах (до 500°С), хорошо обрабатываются резанием и свариваются. Бронзы этого типа используют для изготовления деталей ответственного назначения, эксплуатируемых при повышенных скоростях перемещения, нагрузках, температуре.

Сплавы меди с никелем подразделяют на конструкционные и электротехнические

Куниали (медь-никель-алюминий) содержат 6—13 % Ni, 1,5—3 % Al, остальное — медь. Они подвергаются термической обработке (закалка-старение). Куниали служат для изготовления деталей повышенной прочности, пружин и ряда электротехнических изделий.

Нейзильберы (медь-никель-цинк) содержат 15 % Ni, 20 % Sn, остальное — медь. Они имеют белый цвет, близкий к цвету серебра. Нейзильберы хорошо сопротивляются атмосферной коррозии. Их применяют в приборостроении и производстве часов.

Мельхиоры (медь-никель и небольшие добавки железа и марганца до 1 %) обладают высокой коррозионной стойкостью. Их применяют для изготовления теплообменных аппаратов, штампованных и чеканных изделий.

Константан (медь-никель-марганец) содержат 43 % Ni, 0,5 Mn, остальное - медь. Это специальный сплав с высоким удельным электросопротивлением, используемый для изготовления электронагревательных элементов.

Титан и его сплавы

Титан — серебристо-белый металл низкой плотности (4,5 г/см^3) с высокими механической прочностью, коррозионной и хими-

ческой стойкостью. Температура плавления титана 1660°С, с углеродом он образует очень твердые карбиды. Титан удовлетворительно куется, прокатывается и прессуется.

В земной коре содержится около 60 соединений, содержащих титан, промышленную ценность среди которых имеют ильменит, перовскит и сфен.

Основными способами получения титана являются избирательная восстановительная плавка, восстановление тетрахлорида магния, переплав титановой губки. Очистку титана от примесей производят методом зонной плавки.

Механические свойства титана определяются степенью его чистоты. Примеси кислорода, азота и углерода, образующие с титаном различные соединения, оказывают существенное влияние на его свойства. К вредным примесям относится водород, вызывающий охрупчивание титана.

Для получения сплавов титана с заданными механическими свойствами его легируют различными элементами. Алюминий повышает жаропрочность и механическую прочность титана. Ванадий, марганец, молибден и хром повышают жаропрочность титановых сплавов. Сплавы хорошо поддаются горячей и холодной обработке давлением, обработке резанием, имеют удовлетворительные литейные свойства, хорошо свариваются в среде инертных газов. Сплавы работоспособны при температуре до 500°С.

Титановые сплавы классифицируют по:

— *технологическому назначению* на литейные и деформируемые;

— *механическим свойствам* — низкой (до 700 МПа), средней (700—1000 МПа) и высокой (более 1000 МПа) прочности;

— *эксплуатационным характеристикам* — жаропрочные, химически стойкие и др.;

— *отношению к термической обработке* — упрочняемые и неупрочняемые;

— *структуре* (α-, $\alpha+\beta$- и β-сплавы).

Деформируемые титановые сплавы по механической прочности выпускаются под марками:

— низкой прочности — ВТ 1;

— средней прочности — ВТ 3, ВТ 4, ВТ 5;

— высокой прочности — ВТ 6, ВТ 14, ВТ 15 (после закалки и старения).

Для литья применяются сплавы, аналогичные по составу деформируемым сплавам (ВТ5Л, ВТ14Л), а также специальные литейные сплавы.

Магний и его сплавы

Магний — самый легкий (плотность 1.74 г/см^3) из технических цветных металлов, серебристого цвета, температура плавления 650°С. При температуре, немногим более температуры плавления, легко воспламеняется и горит ярко-белым пламенем.

Магний относится к числу наиболее распространенных элементов в природе. В виде соединений он входит в состав горных пород — магнезита, доломита, карналита и морской воды (бишофит). Промышленное производство магния основано на электролизе расплавов чистых обезвоженных солей.

Главным достоинством магния как машиностроительного материала являются низкая плотность, технологичность. Однако его коррозионная стойкость во влажных средах, кислотах, растворах солей крайне низка. Чистый магний практически не используют в качестве конструкционного материала из-за его недостаточной коррозионной стойкости. Он применяется в качестве легирующей добавки к сталям и чугунам и в ракетной технике при создании твердых топлив.

Эксплуатационные свойства магния улучшают легированием марганцем, алюминием, цинком и другими элементами. Легирование способствует повышению коррозионной стойкости (Zr, Mn), прочности (Al, Zn, Mn, Zr), жаропрочности (Th) магниевых сплавов, снижению окисляемости их при плавке, литье и термообработке.

Сплавы на основе магния классифицируют по:

— *механическим свойствам* — невысокой, средней прочности; высокопрочные, жаропрочные;

— *технологии переработки* — литейные и деформируемые;

— *отношению к термической обработке* — упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой.

Маркировка магниевых сплавов состоит из буквы, обозначающей соответственно сплав (М), и буквы, указывающей способ технологии переработки (А — для деформируемых, Л — для литейных), а также цифры, обозначающей порядковый номер сплава.

Деформируемые магниевые сплавы МА1, МА2, МА3, МА5, МА8 применяют для изготовления полуфабрикатов — прутков, труб, полос и листов, а также для штамповок и поковок.

Литейные магниевые сплавы МЛ1, МЛ2, МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ6 нашли широкое применение для производства фасонных отливок. Некоторые сплавы МЛ применяют для изготовления высоконагруженных деталей в авиационной и автомобильной промышленности: картеры, корпуса приборов, колесные диски, фермы шасси самолетов.

Ввиду низкой коррозионной стойкости магниевых сплавов изделия и детали из них подвергают оксидированию с последующим нанесением лакокрасочных покрытий.

Баббиты и припои

Для изготовления деталей, эксплуатируемых в условиях трения скольжения, используют сплавы, характеризующиеся низким коэффициентом трения, прирабатываемостью, износостойкостью, малой склонностью к заеданию.

К группе антифрикционных материалов относят сплавы на основе олова, свинца и цинка.

Олово — матово-белый металл, обладающий низкой температурой плавления (231°С) и высокой пластичностью. Применяется в составе припоев, медных сплавов (бронза) и антифрикционных сплавов (баббит).

Свинец — металл матового голубовато-серого цвета, обладает низкой температурой плавления (327°С) и высокой пластичностью. Входит в состав медных сплавов (латунь, бронза), антифрикционных сплавов (баббит) и припоев.

Цинк — светло-серый металл с высокими литейными и антикоррозионными свойствами, температура плавления 419°С. Входит в состав медных сплавов (латунь) и твердых припоев.

Баббиты — антифрикционные материалы на основе олова и свинца. В состав баббитов вводятся легирующие элементы, придающие им специфические свойства: медь увеличивает твердость и ударную вязкость; никель — вязкость, твердость, износостойкость; кадмий — прочность и коррозионную стойкость; сурьма — прочность сплава.

Баббиты применяют для заливки вкладышей подшипников скольжения, работающих при больших окружных скоростях и при переменных и ударных нагрузках.

По химическому составу баббиты классифицируют на группы:
— *оловянные* (Б83, Б88);
— *оловянно-свинцовые* (БС6, Б16);
— *свинцовые* (БК2, БКА).

Лучшими антифрикционными свойствами обладают оловянные баббиты. Баббиты на основе свинца имеют несколько худшие антифрикционные свойства, чем оловянные, но они дешевле и менее дефицитны. Свинцовые баббиты применяют в подшипниках, работающих в легких условиях. В конструктивных элементах подвижного состава железных дорог используют подшипники скольжения из *кальциевых баббитов*.

Подшипники скольжения из баббитов изготовляют в виде биметаллических деталей (вкладышей). Для ускорения приработки на их рабочую поверхность наносят слой (0,007—0,05 мм) сплава на оловянной или свинцовой основах. Работоспособность баббитовых подшипников зависит от температуры в рабочей зоне и толщины вкладыша. При снижении толщины вкладыша ресурс работы подшипника увеличивается. Повышение температуры в рабочей зоне свыше 70°С вызывает резкое падение износостойкости баббитовых подшипников.

В марках баббитов цифра показывает содержание олова. Например, баббит БС6 содержит по 6 % олова и сурьмы, остальное — свинец.

Антифрикционные цинковые сплавы (ЦВМ 10-5, ЦАМ 9-1,5) используют для изготовления малонагруженных подшипников

скольжения. Их применяют в литом или деформированном виде: для отливки подшипников, изготовления прокатных полос и биметаллических лент с последующей штамповкой изделий. Такие подшипники успешно заменяют бронзовые при температурах эксплуатации, не превышающих 120°С.

Цинк имеет хорошую коррозионную стойкость в атмосферных условиях и в пресной воде. Поэтому цинк служит для хорошей антикоррозионной защиты сплавов железа и изделий из них. Чистый цинк (марок Ц80, Ц81) применяют в автомобильной промышленности для изготовления источников постоянного тока.

Припои — это металлы или сплавы, используемые при пайке в качестве промежуточного металла (связки) между соединяемыми деталями. Припои имеют более низкую температуру плавления, чем соединяемые металлы. Незначительный нагрев, а вследствие этого отсутствие изменения структуры соединяемых металлов являются основным преимуществом пайки в сравнении со сваркой.

По температуре расплавления припои подразделяют на:

- *легкоплавкие* (145—450°С) оловянно-свинцовые (ПОС), оловянные, малосурьмянистые и сурьмянистые (ПОССу) и др.;
- *среднеплавкие* (450—1100°С) медно-цинковые припои (латуни);
- *высокоплавкие* (1100—1480°С) многокомпонентные припои на основе железа.

Оловянно-свинцовые припои широко применяются во всех отраслях промышленности. Однако они имеют низкую коррозионную стойкость во влажной среде. В таких случаях паяные соединения необходимо защищать лакокрасочными покрытиями.

Оловянные припои имеют высокую прочность, пластичность и коррозионную стойкость. Их применяют при пайке радиотехнической и электронной аппаратуры.

Сурьмянистые припои (ПОССу-4-6) применяются при пайке и лужении в автомобильной промышленности.

Медно-цинковые припои (латуни) широко применяют для пайки большинства металлов. Припоями марок ПМЦ-54, Л63, Л68

пользуются при пайке стали, жести, медных сплавов. Припой Мц-48-10 — для пайки чугуна.

Легкоплавкие пастообразные припои обычно состоят из трех частей: порошкообразного припоя, флюса и загустителя. Например, паста ПорПОССу-30-2 имеет состав: 70 % непосредственно припоя; 20 % вазелина; 1,2 % бензойной кислоты; 1,2 % хлористого аммония и 0,6 % эмульгатора ОП-7. Такие пастообразные припои применяют для пайки стальных, медных и никелевых изделий сложной формы и имеющих вертикальные швы.

Тугоплавкие порошкообразные припои применяют для закрепления твердосплавных пластин на режущем инструменте (сверла, резцы и т. п.). Припой состава: 40 % ферромарганца; 10 % ферросилиция; 20 % чугунной и 5 % медной стружки; 15 % толченого стекла — плавится при температуре 1190—1300°С.

Антифрикционные сплавы

Антифрикционные сплавы предназначены для повышения долговечности трущихся поверхностей машин и механизмов. К таким материалам относятся сплавы на основе олова, свинца, меди или алюминия. Антифрикционные свойства сплавов наиболее полно проявляются в подшипниках скольжения.

В подшипниках скольжения трение происходит между валом и вкладышем подшипника. Антифрикционный материал вкладыша подшипника предохраняет вал от износа, сам минимально изнашивается, создает условия для оптимальной смазки и уменьшает трение в силу того, что обладает прочной и пластичной основой, в которой имеются твердые (опорные) включения. При трении пластичная основа частично изнашивается, а вал опирается на твердые включения. В этом случае трение происходит не по всей поверхности соприкосновения трущихся деталей, а смазка удерживается в изнашивающихся местах пластичной основы.

Из антифрикционных сплавов наиболее широко применяют баббит, бронзу, алюминиевые сплавы, чугун и металлокерамические материалы.

Антифрикционные свойства баббитов были рассмотрены выше. Для *оловянных и оловянно-фосфористых бронз* характерны: низкий коэффициент трения, небольшой износ, высокая теплопроводность, что позволяет подшипникам, изготовленным из таких материалов, работать при больших окружных скоростях и нагрузках.

Алюминиевые бронзы применяются в узлах трения вместо оловянных и свинцовых баббитов и свинцовых бронз. Однако они, обладая повышенной износостойкостью, могут вызвать износ вала.

Свинцовые бронзы в качестве подшипниковых вкладышей способны работать в условиях ударных нагрузок.

Латуни по своим антифрикционным свойствам уступают бронзам и используются для подшипников, работающих при малых скоростях и умеренных нагрузках.

Алюминиевые сплавы обладают хорошими антифрикционными свойствами, высокой теплопроводностью и коррозионной стойкостью в масляных средах и достаточно хорошими механическими и технологическими свойствами. Их применяют в виде тонкого слоя, нанесенного на стальное основание, т. е. в виде биметаллического материала.

Различают две группы алюминиевых антифрикционных сплавов:

— *сплавы алюминия с сурьмой, медью* и другими элементами, которые образуют твердые фазы в мягкой алюминиевой основе. Типичный представитель — сплав САМ, содержащий сурьму до 6,5 % и 0,3—0,7 % магния. Этот сплав хорошо работает при высоких нагрузках и больших скоростях в условиях жидкостного трения. Сплав САМ применяют для изготовления вкладышей подшипников коленчатого вала автомобильных двигателей;

— *сплавы алюминия с оловом и медью* А020-1 (20 % олова и до 1,2 % меди) и А09-2 (9 % олова и 2 % меди). Они хорошо работают в условиях полужидкостного и сухого трения и по своим антифрикционным свойствам близки к баббитам. Их используют для производства подшипников в автомобилестроении и общем машиностроении.

Чугуны широко применяются при изготовлении деталей узлов трения. Хорошими антифрикционными свойствами обладают: серый, высокопрочный с шаровидным графитом и ковкий чугуны. Из них изготовляют червячные зубчатые колеса, направляющие для ползунов механизмов и другие детали, работающие в условиях трения.

Металлокерамические сплавы после прессования и спекания пропитываются минеральными маслами, смазками или масло-графитовой эмульсией. Такие сплавы хорошо прирабатываются к валу, а наличие смазки в порах способствует снижению износа подшипника.

Металлокерамика

Металлокерамические материалы подразделяются на:

— *пористую металлокерамику*, имеющую остаточную пористость в пределах 15—50 % (антифрикционные и «потеющие» материалы, фильтры);

— *компактную металлокерамику* – магнитные, фрикционные и электротехнические материалы.

Антифрикционные металлокерамические материалы имеют в своем составе графит и другие компоненты, выполняющие роль смазки. Эти материалы используют для изготовления втулок, подшипников скольжения, применяемых в автомобильной, авиационной и других отраслях промышленности.

Фильтры изготовляют из порошков железа, бронзы, никеля, коррозионно-стойкой стали и других материалов. Они имеют пористость не менее 50 %. Металлокерамические фильтры применяют для очистки топлива в двигателях автомобилей, для очистки воздуха и различных жидкостей.

«Потеющие» металлокерамические материалы предназначаются для охлаждения за счет испарения хладагента через поры. Их изготовляют из порошков коррозионной стали, никеля, вольфрама, титана и др.

Фрикционные металлокерамические материалы представляют собой сложные композиции на основе меди и железа. В состав

этих материалов входят компоненты, служащие в качестве смазки и предохраняющие материал от износа (свинец, графит и т. п.), а также компоненты, придающие материалу высокие фрикционные свойства (асбест, кварцевый песок, тугоплавкие металлические соединения и т. д.).

Фрикционные металлокерамические материалы имеют повышенную хрупкость и низкую прочность. Поэтому изделия из них, как правило, состоят из стальной основы с нанесенным на нее слоем фрикционной металлокерамики. Такие материалы применяют в узлах сцепления и торможения автомобилей.

Магнитные металлокерамические материалы подразделяют на:

- магнитно-мягкие (ферриты), изготовляемые из порошков окислов железа;
- магнитно-твердые (постоянные магниты) металлокерамические сплавы на основе железа, легированного алюминием, никелем, медью, кобальтом и подвергаемые дополнительной термической обработке;
- магнитодиэлектрики, представляющие собой композиции магнитных и изоляционных материалов.

Электротехнические металлокерамические материалы изготовляют из смеси порошков тугоплавких металлов (Mo, Co, Ni, W) с медью и серебром. Тугоплавкие металлы определяют механические свойства изделия, а легкоплавкие — служат наполнителем и придают материалам высокую электропроводимость.

Металлокерамические электрические контакты применяют в магнитных пускателях, тепловых реле и реле особо тяжелого режима, регуляторах напряжения, аппаратуре управления, преобразователях тока и т. д.

Порошковая металлургия

Методы порошковой металлургии позволяют получать сплавы из металлов, не растворяющихся друг в друге при расплавлении, а также сплавы из тугоплавких металлов. Порошковая металлургия позволяет получать пористые материалы и детали из них, а также детали, состоящие из двух (биметаллы) и более слоев различных металлов и сплавов.

Технологический процесс производства изделий методом порошковой металлургии состоит из следующих основных операций:

— получение металлического порошка или смеси порошков разнородных материалов;
— формирование и спекание (нагрев);
— отделочные операции (механической обработки, калибрования, термической и химико-термической обработки).

Металлические порошки получают механическими и физико-химическими методами.

При *механических методах* порошки вырабатывают измельчением (дроблением, размолом) твердых или распылением (кинетической энергией воздуха, воды, инертных газов) жидких металлов без изменения их химического состава.

При *физико-химических методах* происходит изменение химического состава и свойств исходного материала (химическое восстановление металлов из окислов, электролиз расплавленных солей и др.).

Характеристиками основных технологических свойств порошков являются:

— *насыпная масса* — масса 1 см^3 свободно насыпанного порошка в граммах. Для изготовления высокопористых изделий (фильтры) используют порошки с малой насыпной массой, а для нагруженных деталей — с большой насыпной массой;
— *текучесть* — способность порошка заполнять форму, в большой степени влияет на равномерность заполнения формы порошком и на скорость уплотнения при прессовании;
— *прессуемость* — способность порошка уплотняться под воздействием внешней нагрузки; характеризуется прочностью сцепления частиц порошка после прессования;
— *спекаемость* — прочность сцепления частиц, возникающая в результате термической обработки прессованных заготовок.

Формирование заготовок и изделий производится прессованием порошков в холодном или горячем состоянии, прокаткой или другими способами.

При *холодном прессовании* в пресс-форму засыпают порошок (смесь) и рабочим пуансоном производят прессование на гидравлических или механических (эксцентриковых, кривошипных) прессах. Усилие прессования достигает 1000 МПа в зависимости от состава порошка и назначения изделия.

При *горячем прессовании* в пресс-форме изделие не только формируется, но и подвергается спеканию, что позволяет получать беспористый материал с высокими физико-механическими свойствами.

Прокатка металлических порошков является непрерывным процессом получения изделий в виде лент, полос, проволоки путем деформирования в холодном или горячем состоянии.

Сначала порошок из бункера поступает в зазор между вращающимися обжимными валками и формируется в заготовку, которая направляется в проходную печь для спекания, а затем прокатывается в чистовых валках под размеры готового изделия.

Прокаткой можно получить однослойные и многослойные изделия.

Спекание металлических порошков придает заготовкам и изделиям необходимую прочность и твердость. Операция спекания состоит в нагреве и выдержке изделий некоторое время в печи при температуре, примерно равной 0,6—0,8 от температуры плавления основного компонента.

Отделочные операции придают изделиям окончательную форму и точность размеров. Готовые изделия после спекания подвергают операциям: калибрования, обработки резанием, химико-термической обработки и повторного прессования.

Повторное прессование используют для изготовления деталей сложной формы. Повторным прессованием обеспечиваются заданные размеры и требуемая форма изделия, когда первым прессованием формируется заготовка с приближенными размерами и более простой формы.

Автомобильная промышленность является основным потребителем порошковых машиностроительных деталей. На долю автомобильных деталей в зарубежных странах приходится до 80 % всего объема производимых конструкционных порошковых деталей.

Для изготовления деталей используют восстановленные и распыленные порошки углеродистой и низколегированной стали. При необходимости применяют цементацию, закалку нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) или объемную закалку, обработку паром для повышения коррозионной стойкости и дополнительно износостойкости.

Контрольные вопросы

1. *Каким образом классифицируются алюминиевые сплавы?*
2. *Что называется силумином?*
3. *Что называется бронзой?*
4. *Какие сплавы используют в качестве антифрикционных материалов?*
5. *С какой целью используются припои?*
6. *Каким образом подразделяются металлокерамические материалы?*

Раздел 4

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ

Литейное производство

Литье — это способ изготовления заготовки или изделия заполнением полости заданной конфигурации жидким металлом с последующим его затвердеванием. Заготовку или изделие, получаемое методом литья, называют отливкой.

Литейное производство — основная заготовительная база всех направлений машиностроения. Во многих случаях литье — единственно возможный способ получения заготовок сложной формы. Литые заготовки являются наиболее дешевыми, а зачастую имеют минимальный припуск на механическую обработку.

Способы изготовления отливок делятся на две группы:

— литье в обычные песчаные формы;

— специальные способы литья.

В свою очередь способы литья в песчаные формы могут быть ручными и машинными (механизированными и автоматизированными). К специальным методам литья относятся: литье в кокиль (металлические формы свободной заливкой); литье по выплавляемым, растворяемым, выжигаемым моделям; центробежное литье; литье под давлением; литье в оболочковые формы и другие способы литья.

Технология изготовления отливок в песчаных формах. Назначение литейной формы состоит в обеспечении необходимой конфигурации и размеров отливки; заданной точности и качества поверхности отливки.

Для изготовления песчаной формы необходимо иметь модельный комплект и другую литейную оснастку. Модельный комплект включает в себя всю оснастку для получения полости формы. Он состоит из модели, стержневого ящика, моделей элементов литниковой системы. При необходимости модельный комплект должен включать шаблоны для контроля размеров и конфигурации формы.

Модель служит для получения отпечатка в форме, стержневой ящик — для изготовления стержня, который устанавливается в форму с целью создания полости в отливке. Литниковая система нужна для подвода жидкого металла из литейного за-

ливочного ковша, в который расплавленный металл поступает из плавильного агрегата, к полости формы.

Уплотнение формовочной смеси в верхних и нижних полуформах выполняют в опоках, представляющих собой открытые с двух сторон металлические ящики. После изготовления полуформ низа, верха и стержней производят операции сборки форм и их заливки жидким металлом.

После заливки металла, его затвердевания и охлаждения до требуемой температуры производят выбивку форм (извлечение отливки из формы).

Выбитая из формы отливка подвергается обрубке (отделению литниковой системы, прибылей, заусенцев и т.д.) и очистке, затем, если необходимо, — термообработке. Перед сдачей в механический цех все отливки проходят необходимый контроль. При этом часть отливок может быть отправлена на устранение дефектов (заварку, пропитку специальными составами и др.).

Специальные способы литья. Отличительной особенностью отливок, получаемых специальными способами, по сравнению с литьем в обычные песчаные формы являются, как правило, их более высокая точность, лучшее качество поверхности, меньшие величины припусков на механическую обработку. Специальные способы получения отливок являются прогрессивными методами формообразования.

Литье в кокиль. Кокиль — это литейная форма, изготовленная из металла. Основные достоинства кокилей по сравнению с песчаными формами — многократное использование формы, более высокие производительность труда, точность отливок, качество их поверхности и стабильность размеров.

Кокили бывают неразъемные и разъемные. Все перечисленные типы кокилей могут быть одно- и многогнездные (т. е. для получения одной отливки или одновременно нескольких), немеханизированные (ручные), механизированные, автоматизированные и автоматические.

Материалы, используемые для изготовления кокилей, должны хорошо противостоять термическим ударам, возникающим при заливке металла, легко обрабатываться, быть недефицитны-

ми и недорогими. Наиболее полно этим требованиям отвечает чугун, иногда используют сталь, алюминиевые и другие сплавы.

Литье по выплавляемым моделям. Сущность способа состоит в получении специальных моделей из легкоплавких материалов, сборке их в блоки (соединении моделей и отливок с моделью литниковой системы), покрытии модельных блоков огнеупорной оболочкой, удалении моделей (выплавлением, растворением, выжиганием), прокаливании оболочковых форм, заливки в них жидкого металла. К преимуществам литья по выплавляемым моделям относят возможность получения сложных отливок из разнообразных сплавов, в том числе труднообрабатываемых резанием и ковкой.

Центробежное литье. Центробежным литьем называют способ изготовления отливок, при котором металл заливается в форму и затвердевает в ней под действием центробежных сил. Расплавленный металл заливается во вращающуюся форму, приводимую в движение специальной машиной, называемой центробежной. Центробежным способом литья получают отливки тела тел вращения: трубы, кольца, втулки, гильзы и т.д. Этот способ позволяет изготовлять также двухслойные биметаллические отливки (отливки из двух различных сплавов), заливая сначала сплав одного состава, затем другого.

Литье под давлением. Сущность процесса состоит в том, что жидкий металл поступает в рабочую полость металлической формы (пресс-формы) под давлением. Литьем под давлением получают отливки массой от нескольких граммов до нескольких десятков килограммов из сплавов на основе свинца, олова, цинка, алюминия, магния, меди, железа, по сложности — от элементов замка «молния» до блока цилиндров к автомобилю. В настоящее время в условиях массового производства процесс литья под давлением автоматизируют. Для съема и удаления отливок из формы используют различные механизмы, в том числе роботы-манипуляторы.

Литье в оболочковые формы. Литейная форма здесь представляет собой оболочку толщиной 6—10 мм, изготовленную из материала огнеупорной основы (наполнителя) и синтетической смолы в качестве связующего. Принцип получения оболочек

заложен в свойствах связующего материала, способного необратимо отверждаться при нагревании. В качестве огнеупорной основы широко используют кварцевый песок. Связующим материалом являются фенолформальдегидные синтетические термореактивные смолы. Литьем в оболочковые формы получают отливки повышенной точности, более лучшего качества поверхности, чем при литье в песчаные формы. Процесс чрезвычайно производителен и легко поддается механизации.

Обработка металлов давлением

В настоящее время около четверти металла, потребляемого машиностроением, уходит в отходы в виде стружки, что составляет миллионы тонн. Использование таких методов, как получение точных профилей фасонной конфигурации методом прокатки, прессования, гибки, штамповки, волочения и других позволяет повысить точность заготовок и резко снизить трудоемкость механической обработки при значительном снижении расхода металла. Процесс обработки металлов давлением (ОМД) — это придание материалу требуемой формы, размеров и физико-механических свойств без нарушения его сплошности путем пластической деформации. Процессы обработки давлением разделяют на две группы: горячую и холодную деформацию.

На современных металлургических заводах применяют ковку, штамповку, прокатку, волочение и прессование.

Обработка металлов кузнечным способом включает процессы свободной ковки, горячей и холодной штамповки. Для штамповки характерно применение специального инструмента — штампов. Свободной ковкой производят единичные или мелкосерийные поковки. Мелкие и средние поковки массой до 1 тонны изготавливают на молотах, более крупные — на прессах.

Прокатка. Прокатка — один из наиболее распространенных видов ОМД. При продольной прокатке металл деформируется между двумя валками, вращающимися навстречу друг другу. Этим способом производится почти 90 % прокатной продукции,

в том числе весь листовой и профильный прокат. Крупный профиль и толстый лист производят методом горячей продольной прокатки. Тонкий лист, ленту, мелкий профиль точных размеров — методом холодной прокатки. Горячая прокатка более производительна и экономически выгодна, холодная прокатка обеспечивает значительно более высокую точность и часто является чистовым этапом производства листов, труб и профилей.

При поперечной и поперечно-винтовой (косой) прокатке валки вращаются в одну сторону. При косой прокатке металл получает не только поперечную, но и продольную деформацию за счет перекоса валков. В обоих случаях заготовка вращается вследствие вращения валков. Косая прокатка позволяет изготавливать бесшовные горячекатаные трубы, а поперечная — спецпрофили.

Классификация прокатных станов может быть проведена по назначению продукции: обжимные (блюминги — производство сортовой заготовки; слябинги — производство листовой заготовки), заготовочные, крупносортные, среднесортные, мелкосортные, проволочные, рельсобалочные, универсальные балочные, толстолистовые, широкополосные, листовые, тонколистовые, ленточные, трубопрокатные, бандаже- и колесопрокатные, а также специального назначения. Прокатные станы бывают реверсивными (возможность изменения направления прокатки) и нереверсивными.

Сортаментом станов называется совокупность получаемых изделий по форме, сечению и размерам. Все прокатные изделия подразделяют на: сорт, лист, трубы, профили, специальные виды прокатов. Прокатку сорта и профиля осуществляют в калиброванных (ручьевых) валках, листы и полосы прокатывают в валках с гладкой поверхностью.

Волочение. Сущность процесса волочения состоит в деформации металла путем протягивания через сужающийся по длине канал круглого, квадратного или более сложного профиля. Волочильный инструмент, волока (матрица, фильера) изготавливаются из закаленной стали или твердых сплавов. Усилия волочения в значительной мере определяют силы трения на поверхности металл-волока, которые стремятся максимально снизить подбором рациональных смазок. Смазки бывают жид-

кие (касторовое масло, олифа, минеральные масла); жидкие с добавками (талька, порошка графита и др.); сухие (порошки, мыла), покрытия (фосфатные, металлические и др.).

При волочении изменяется профиль поперечного сечения с одновременной вытяжкой по длине. Процесс волочения многократен и чередуется с большим количеством промежуточных отжигов, травлений, смазок и т. д. Волочением изготавливают проволоку и трубы. В большинстве случаев металл, обрабатываемый волочением, не нагревают: он входит в волочильный канал при комнатной температуре, а образующееся при деформации тепло отводят с помощью эмульсии или обдува воздухом. В некоторых случаях, когда обрабатываемый металл обладает недостаточной пластичностью при комнатной температуре или высоким сопротивлением деформации, волочение осуществляют с дополнительным подогревом.

Для введения заготовки в волочильный инструмент для обеспечения начального захвата передний конец изделия утончают (острят) заковкой на молотах.

Отличительной чертой процесса волочения является его универсальность (простота и быстрота замены инструмента), что делает его очень распространенным.

Прессование. Прессованием называют процесс выдавливания (экструзии) находящегося в полости контейнера металла через выходное отверстие — очко матрицы. Методом горячего прессования в настоящее время изготавливают чрезвычайно широкий сортамент изделий: прутки, трубы, самые разнообразные профили сложного сечения. Прессование чаще применяют для обработки цветных металлов и реже сталей. Используется прессование и для изготовления изделий из тугоплавких металлов и сплавов на их основе.

Методом прессования изготавливается очень широкий сортамент сплошных и полых профилей, труб и панелей, в том числе оребренных. Практически любой из видов профильного проката может быть изготовлен прессованием. Процесс универсален при переходе с размера на размер и одного типа профиля на другой. Смена инструмента не требует больших затрат времени.

Существуют два метода прессования: прямой и обратный. При прямом металл выдавливается в направлении движения пуансона (пресс-остаток 18—20%). При обратном металл движется из контейнера навстречу движению пуансона (пресс-остаток 5—6%). При прямом прессовании качество поверхности выше, зато обратный метод требует меньшие усилия.

Инструмент для прессования состоит: из контейнера, матрицы, пуансона (штемпеля), иглы и иглодержателя (при прессовании полых профилей и труб).

В некоторых случаях применяются такие методы прессования, как прессование с подогревом инструмента, вакуумное, с противодавлением, прилагаемым к изделию на выходе из матрицы.

Свободная ковка. Процесс свободного течения металла под действием периодических ударов или статических воздействий инструмента называется свободной ковкой. Свободная ковка разделяется на ручную и машинную. Ручная ковка как древнейший способ обработки металла давлением сохранилась в настоящее время в мелких ремонтных мастерских. Свободная машинная ковка осуществляется на молотах и прессах. Ковке подвергают чаще литой металл. При ковке литого металла процесс раздробления литой (дендритной) структуры и появление волокнистости в целом аналогичен прокатке. Свободной ковкой можно изготавливать заготовки практически из всех марок и видов деформируемых конструкционных металлов и сплавов.

Методом свободной ковки получают крупные поковки в основном простого сечения: круг, квадрат, многогранник, прямоугольник. Можно получать заготовки валов.

Обычная технологическая схема ковки: нагрев заготовки (слитка), беллетировка (превращение конического слитка в цилиндрическую заготовку), протяжка, подогрев и последующая ковка в размер, разрубка на мерные длины, охлаждение и термообработка, осмотр, обмер, зачистка дефектов, отрезка образцов на механические испытания, сдача.

Штамповка — это способ изготовления изделий давлением с помощью специального инструмента (штампов), рабочая полость которых определяет конфигурацию конечной штамповки

(изделия). Штампованные заготовки значительно приближены по форме и размерам к готовой детали. Процессы штамповки подразделяют на два вида: объемная и листовая штамповка. При объемной штамповке используют сортовую или профильную заготовку, при листовой штамповке заготовкой является металл в виде листа.

Методами объемной штамповки изготавливают заготовки сложной конфигурации (шестерни, коленчатые валы, кронштейны, рычаги и другие детали для машиностроения). Листовой штамповкой получают различные корпусные изделия (детали обшивки и корпуса легковых и грузовых автомобилей и др.).

Детали можно штамповать в горячем и холодном состояниях на различных типах кузнечно-прессового оборудования. Холодная штамповка обеспечивает более высокое качество поверхности и точность, но требует более мощного оборудования. Механические свойства штамповок превосходят аналогичные показатели кованых деталей, так как в штамповке легче создать условия, обеспечивающие равномерность структуры и направленность волокна. Штампы бывают одно- и многоручьевыми для изготовления штамповки в несколько переходов.

Сущность процесса *горячей объемной штамповки* заключается в том, что нагретая до оптимальной температуры заготовка помещается в полость одной из половин штампа, где она при воздействии второй половины приобретает заданную форму. Штамповка в открытых штампах связана с образованием облоя (заусенца). Рассчитывая размер заготовки, его нужно увеличить относительно объема готовой штамповки на величину облоя. Облой облегчает заполнение штампа металлом и позволяет использовать при штамповке одинаковых деталей заготовки, несколько отличающиеся по объему.

Технологическая схема процесса состоит из следующих операций: разрезка прутков, нагрев заготовки, перенос в полость штампа, штамповка, обрезка заусенца (облоя), термическая обработка, осмотр, ремонт дефектов, приемка. Для горячей штамповки штампы изготавливаются из инструментальных углеродистых и легированных сталей.

Холодную объемную штамповку осуществляют в тех же штампах, которые применяются для горячей обработки. Основное преимущество холодной штамповки состоит в возможности деформирования заготовок малой толщины (полоса) и поперечного сечения (пруток, проволока). Этот метод позволяет получать поковки с тонкими сечениями, что в нагретом состоянии недостижимо ввиду их быстрого охлаждения. В холодном состоянии чаще штампуют цветные металлы, низкоуглеродистые стали, легированные и коррозионностойкие стали.

Листовая штамповка является одним из прогрессивных методов формообразования на прессах при помощи штампов и широко применяется во всех отраслях машиностроения и металлообрабатывающей промышленности. Листовой штамповкой изготавливают изделия для автомобилей, тракторов, самолетов, сельскохозяйственных машин и др. В зависимости от толщины листа-заготовки штамповку можно условно разделить на тонколистовую (толщина листа до 4 мм) и толстолистовую (толщина более 4 мм). В листоштамповочном производстве широко применяются черные металлы (углеродистые стали обыкновенного качества, качественные и конструкционные; легированные конструкционные стали и высоколегированные, коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные сплавы), цветные металлы и сплавы (медь, никель, алюминий, магний, титан и сплавы на их основе). В листовой штамповке используют также биметаллический и многослойный лист.

Операции листовой штамповки могут быть разбиты на следующие основные группы: разъединительные, формоизменяющие, комбинированные, штамповочные. К *разъединительным* (разделительным) операциям, связанным с отделением одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру, следует отнести отрезку, вырубку (вырезку), пробивку отверстий, надрезку, обрезку и зачистку. К *формоизменяющим* операциям превращения плоской заготовки в пространственную деталь требуемой формы относят: гибку, вытяжку, правку, рельефную штамповку, отбортовку, формовку, раздачу и обжим. К *прессовочным* операциям, связанным с изменением толщины заготовки, принадлежат: чеканка, разметка (кернение), клейме-

ние (маркировка), холодное выдавливание. *Комбинированная штамповка* — это совмещение нескольких технологических операций, например, отрезки и гибки, вырубки и вытяжки. *Штамповосборочные* операции предназначаются для соединения деталей в один узел. К ним относятся: запрессовка, закатка, холодная или горячая пластическая сварка и др.

Сварочное производство

Сваркой называют технологический процесс получения механически неразъемных соединений, обладающих свойствами свариваемых материалов. Это технологический процесс, с помощью которого изготавливаются железнодорожные мосты, вагоны, корабли, строительные металлоконструкции, крупные узлы машиностроительных конструкций, автомобили и многие другие изделия. Многообразие свариваемых конструкций и свойств материалов, используемых для их изготовления, заставляют применять различные способы сварки, разнообразные сварочные источники теплоты.

Для сварочного нагрева и формирования сварного соединения используются: энергия, преобразованная в тепловую посредством дугового разряда, электронного луча, квантовых генераторов; джоулево тепло, выделяемое протекающим током по твердому или жидкому проводнику; химическая энергия горения, механическая энергия, энергия ультразвука и других источников. Разнообразие способов сварки, отраслей промышленности, в которых ее используют, свариваемых материалов, видов конструкций и огромные объемы применения позволяют характеризовать технологический процесс сварки, как один из важнейших в металлообработке.

Электрическая дуговая сварка наиболее широко используется при изготовлении всевозможных сварных конструкций. В зависимости от материала сварной конструкции, ее габаритов, толщины свариваемого металла и других особенностей свариваемого изделия, применение находят определенные разновидности электрической дуговой сварки. При изготовлении конструк-

ций из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей наибольшее применение находят ручная дуговая сварка качественными электродами с толстым покрытием, автоматическая, полуавтоматическая сварка под флюсом, а также сварка в углекислом газе. При сварке конструкций из высоколегированных сталей, цветных металлов и сплавов предпочтительно использование аргоно-дуговой сварки.

Газовая (газо-кислородная) сварка. При газовой сварке кромки металла, подлежащие сварке, нагреваются теплом экзотермической реакции, протекающей в пламени газовой горелки между горючим газом (как правило, ацетиленом) и кислородом. Газовая сварка применяется как при изготовлении изделий из тонколистовой стали, так и при сварке чугуна (при ремонтных работах) и некоторых цветных металлов и сплавов.

Электрическая контактная сварка. Различают три основных вида контактной сварки: стыковую, точечную и шовную или роликовую.

При *стыковой сварке* через стык соединяемых деталей пропускают электрический ток. После разогрева в зоне сварки производится осадка.

При *точечной сварке* соединяемые детали, чаще всего листы, собирают внахлестку и зажимают между двумя медными охлаждаемыми изнутри проточной водой электродами, подводящими ток к месту сварки и имеющими вид усеченного конуса. Ток проходит от одного электрода к другому через толщу соединяемых металлов и контакт между ними и производит местный нагрев их (вплоть до температуры расплавления). Давлением, приложенным к электродам, производят осадку. Полученное сварное соединение в «плане» имеет форму пятна диаметром несколько миллиметров. Это пятно называют точкой.

При *шовной сварке* электроды, подводящие ток к изделию и осуществляющие осадку, имеют форму роликов, катящихся по изделию, в связи с чем эту разновидность контактной сварки называют также роликовой. При шовной сварке листы соединяются непрерывным плотным швом.

Пайка металлов

Пайкой металлов называют процесс соединения материалов в твердом состоянии припоями, которые при температуре пайки находятся в расплавленном состоянии, смачивают паяемые поверхности, заполняют зазор между ними и в результате кристаллизации образуют паяный шов. Образование паяного соединения происходит в результате образования химических связей в контакте основной металл — припой.

Пайке поддаются все углеродистые и легированные стали, твердые сплавы, чугун, медь, никель, алюминий и другие металлы и сплавы.

Газокислородная резка металлов

В технически чистом кислороде при температуре, необходимой для начала реакции, интенсивность окисления металла становится настолько большой, что переходит в горение. Для непрерывности процесса горения необходимо соблюдение определенных условий:

— контакт окислителя с неокисленным металлом поверхности;
— непрерывный подогрев неокисленного металла до температуры воспламенения;
— достаточно высокая концентрация кислорода в газовой фазе, вступающей в контакт с металлом.

Таким образом, процесс газокислородной резки является процессом сквозного прожигания твердого металла струей чистого кислорода.

Для возможности начала процесса резки и устойчивого его протекания необходимо подогреть металл в нужном месте до температуры его воспламенения. С этой целью резак должен иметь канал для подачи горючего газа в смеси с кислородом для создания подогревательного пламени и канал, по которому подается струя режущего кислорода. После разогрева места начала

реза до необходимой температуры, открыв вентиль, подают струю режущего кислорода.

Восстановление и упрочнение деталей наплавкой

Наплавочные работы широко применяют при восстановлении изношенных деталей. Применение наплавки рабочих поверхностей позволяет не только восстановить размеры детали, но и повысить их долговечность и износостойкость путем нанесения металла соответствующих химического состава и физико-механических свойств.

Сущность процесса наплавки состоит в том, что одним из источников нагрева присадочный металл расплавляется и переносится на наплавляемую поверхность. При этом расплавляется металл поверхностного слоя основного металла и вместе с расплавленным присадочным металлом образует слой наплавленного металла.

Одним из важных параметров процесса наплавки является глубина проплавления основного металла: чем меньше глубина проплавления, тем меньше доля основного металла в наплавленном. Химический состав наплавленного металла будет ближе к присадочному. Обычно химический состав присадочного металла и металла наплавки выравнивается во втором-третьем слое.

На глубине проплавления располагается переходная зона от основного металла к наплавленному. Эта зона считается наиболее опасной, с точки зрения разрушения металла. Металл переходной зоны охрупчен из-за большой скорости охлаждения металла шва, имеет повышенную склонность к образованию холодных трещин по причине большой неоднородности химического состава металла и соответственно большой разности коэффициентов линейного расширения. Отсюда следует, что чем больше глубина проплавления, тем больше зона ослабленного участка и тем ниже прочность детали. И, наоборот, чем меньше глубина проплавления, тем в меньшей мере теряется прочность детали. Металл наплавки по химическому составу приближается к при-

садочному, при этом отпадает необходимость в наложении второго слоя.

Исходя из изложенного, выбор оборудования для наплавки, режимов и технологии должен проводиться из условия обеспечения минимальной глубины проплавления основного металла.

При толщине наплавленного слоя больше 5 мм наплавку желательно вести в два слоя для уменьшения глубины проплавления.

Выбор режимов наплавки зависит от толщины наплавленного слоя.

Выбор наплавочных материалов производится исходя из требований, предъявляемых к металлу трущихся поверхностей в зависимости от вида изнашивания. Например, для условий абразивного изнашивания требуется высокая твердость наплавленного металла, которая обеспечивается использованием наплавочных материалов с повышенным содержанием углерода, хрома, марганца, вольфрама.

Для условий коррозионного изнашивания коррозиостойкость достигается легированием металла хромом в количестве больше 12% (нержавеющие стали).

Выполнение наплавочных работ осуществляется различными способами, основными из которых являются ручная дуговая наплавка, автоматическая дуговая наплавка под флюсом, наплавка в среде углекислого газа, вибродуговая, плазменная и газовая наплавка.

Ручная дуговая наплавка применяется при индивидуальном способе выполнения ремонтных работ.

Для восстановления деталей типа валов, работающих при нормальных условиях, рекомендуются электроды ОЗН 400, обеспечивающие твердость НВ 375-425 без термической обработки.

Наплавка деталей, работающих при коррозионном изнашивании, выполняется электродами ЦН-6М или ЦН-5.

Для деталей, работающих в условиях абразивного износа, рекомендуются электроды Т-590.

Режимы наплавки указываются на пачках электродов.

Для наплавки могут применяться и сварочные электроды, но механические свойства наплавленного металла низкие.

Автоматическая наплавка под флюсом рекомендуется при большом объеме ремонтных работ.

Сущность процесса наплавки состоит в том, что дуга горит под слоем флюса. Под действием тепла дуги расплавляются электродная проволока, основной металл и часть флюса. Расплавленный металл электрода переносится на основной, образуя слой наплавленного металла. Перенос происходит в зоне расплавленного флюса, который надежно защищает жидкий металл от контакта с воздухом.

Наплавка в среде углекислого газа довольно широко применяется для восстановления размеров изношенных деталей.

Сущность процесса состоит в том, что сварочная дуга горит в среде углекислого газа, который предохраняет расплавленный металл от контакта с воздухом.

Вибродуговая наплавка. Сущность способа вибродуговой наплавки состоит в том, что электродной проволоке при движении в зону дуги придаются дополнительные продольные колебания большой частоты. Такие колебания обеспечивают более высокую стабильность горения дуги и позволяют значительно снизить параметры режима наплавки (силу сварочного тока и напряжение) по сравнению с наплавкой в среде углекислого газа. На этом принципе разработаны многие конструкции наплавочных автоматов.

Плазменная наплавка. Сущность плазменной наплавки состоит в расплавлении присадочного металла струей плазмы и перенесении его на основной металл. Плазма представляет собой направленный поток ионизированных частиц газа, имеющего температуру $(10—30)\cdot10^3$ °С. Получают плазму в специальных устройствах — плазмотронах при пропускании газа через столб электрической дуги.

Для осуществления процесса наплавки электродную проволоку подают в зону плазменной дуги, металл электрода плавится и переносится на деталь.

Для прекращения процесса наплавки плазмотрон отрывают от детали, основная дуга гаснет, но продолжает гореть дежурная дуга.

В качестве наплавляемого материала могут использоваться порошки не только металлов, но и неметаллов (керамический порошок). Это позволяет нанести керамику на металлы.

Газовая наплавка деталей. Газовая наплавка применяется сравнительно редко, в основном при индивидуальном способе выполнения ремонтных работ, из-за трудности механизации процесса.

Плавление металла осуществляется газовым пламенем, образующимся при сгорании кислорода в среде ацетилена. Температура пламени в зоне ядра составляет 3100—3200°С.

Защита расплавленного металла от окисления осуществляется самим газовым пламенем и флюсами. В качестве флюса используют буру или смесь буры и борной кислоты.

В качестве присадочного металла при газовой наплавке используют прутки того же состава, что и основной металл.

Режим наплавки определяется мощностью газовой горелки, т. е. расходом ацетилена. Мощность зависит от толщины наплавляемого слоя.

Газовая наплавка чаще всего применяется для заплавления дефектов на корпусных деталях.

При наплавке на чугунные изделия в качестве наплавочных материалов используют чугунные прутки примерно того же состава. Процесс выполняется науглероженным пламенем, т. е. с большим расходом ацетилена.

При наплавке металла на алюминиевые изделия присадочным материалом служат алюминиевые прутки.

Обработка резанием

Практически все детали машин и приборов приобретают окончательную форму и размеры, заданные чертежом, только после механической обработки, т. е. после обработки резанием. До обработки будущая деталь называется *заготовкой*; в процессе обработки с заготовки необходимо удалить лишний металл, который называется *припуском на обработку*.

В зависимости от характера выполняемых работ и вида режущего инструмента главное движение подачи могут быть вращательными, поступательными, прерывистыми или комбинацией этих движений и могут сообщаться как заготовкам, так и инструментам. Каждая из таких комбинаций определяет метод обработки: точение, сверление, фрезерование и т.д. Работа резания любого режущего инструмента основана на действии клина, который внедряется в тело заготовки и последовательно скалывает заданные участки припусков.

Метод *точения* используют для обработки наружных и внутренних поверхностей вращения (цилиндрических, конических и фасонных), обработки плоских торцевых поверхностей (подрезание торцов), нарезания резьбы и некоторых других работ. Для обработки отверстий используют сверла, зенкеры, развертки и др. Для нарезания резьбы наряду с резьбонарезными резцами часто используют метчики и плашки.

Сверление — наиболее распространенный метод получения отверстий в сплошном материале. При сверлении главным является вращательное движение, а движение подачи — поступательное. Эти движения могут сообщаться как инструменту, так и заготовке в разных комбинациях. Процесс резания при сверлении протекает в более сложных условиях, чем при точении, так как затруднен отвод стружки и подвод смазочно-охлаждающей жидкости к режущим лезвиям инструмента.

Фрезерование в основном предназначено для обработки различно ориентированных плоских поверхностей, пазов, уступов, а также фасонных линейчатых поверхностей. Особенностью фрезерования является прерывистость процесса резания. При вращении фрезы каждый зуб врезается в заготовку с ударом, а затем работает только на некоторой части оборотов и выходит из зоны резания. При дальнейшем движении зуб не касается заготовки, что способствует его охлаждению и обусловливает благоприятные условия для работы.

Обработка *строганием* характеризуется прямолинейным возвратно-поступательным главным движением и прерывистым движением подачи. Главное возвратно-поступательное движение состоит из двойных ходов. Во время прямого хода с заготовки

срезается стружка (рабочий ход), а во время обратного (холостого хода) происходит возвращение исполнительных органов (стола или резца) в исходное положение и стружка не снимается.

Разновидностью строгания является *долбление*, которое характеризуется главным возвратно-поступательным движением режущего инструмента в вертикальном направлении, периодическим перемещением заготовки в горизонтальной плоскости и при необходимости вращением вокруг вертикальной оси. Долбежные станки предназначены для обработки фасонных отверстий, различной формы канавок в отверстиях.

Обработка заготовок *протягиванием* широко применяется в условиях крупносерийного и массового производства для обработки внутренних и наружных поверхностей. Она заменяет фасонное строгание, фрезерование, долбление и в некоторых случаях растачивание.

Изготовление зубчатых колес может осуществляться двумя методами: копирования и обкатки. Метод *копирования* основан на том, что каждая впадина нарезаемого зубчатого колеса образуется фрезерованием ее фасонной фрезой, форма которой соответствует форме впадины между зубьями колеса. При таком методе за один проход на заготовке нарезается одна впадина, а затем с помощью делительной головки заготовка поворачивается на 1/z части окружности для фрезерования следующей впадины (z — число зубьев зубчатого колеса).

Метод *обкатки* состоит в том, что при нарезании зубчатого колеса заготовке и инструменту принудительно сообщаются движения, воспроизводящие работу соответствующего зубчатого зацепления: пары зубчатых колес, зубчатого колеса с рейкой, червяка с червячным зубчатым колесом. Причем взаимные движения заготовки и инструмента должны осуществляться с передаточным отношением воспроизводимой передачи, т. е. в соответствии с передаточным отношением зубчатой передачи. Нарезание зубьев по методу обкатки производится на специальных зубофрезерных, зубодолбежных и зубострогальных станках.

Шлифование — это процесс резания материалов с помощью абразивного инструмента, режущими элементами которого являются зерна абразивных материалов. Шлифование применяет-

ся как для черновой, так и для чистовой и отделочной обработки. При шлифовании главным движением является вращение режущего инструмента (чаще абразивного круга) с очень большой скоростью. Каждое абразивное зерно, удерживаемое связующим материалом, работает как зуб фрезы, снимая стружку. В зависимости от вида обрабатываемых поверхностей различаются следующие способы шлифования:

— наружное круглое;
— внутреннее круглое;
— плоское;
— шлифование фасонных поверхностей.

При изготовлении высокоточных изделий качество поверхности, полученной при шлифовании, недостаточно для нормального функционирования деталей. В этих случаях применяют отделочные методы обработки: полирование, притирку, хонингование, суперфиниширование.

Контрольные вопросы

1. *Опишите технологию изготовления отливок в песчаных формах.*
2. *Перечислите специальные способы литья.*
3. *Каким образом подразделяются прокатные изделия?*
4. *В чем состоит сущность процесса волочения?*
5. *Что называется сваркой металлов?*
6. *На чем основана работа резания режущего инструмента?*

Раздел 5

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Древесные материалы

Основе этих материалов — древесине — присущ целый ряд ценных свойств:

- высокая удельная прочность;
- хорошая обрабатываемость;
- надежность соединения (склеиванием, гвоздями, шурупами);
- легкая окрашиваемость;
- способность к наполнению компонентами различного состава.

Однако древесине свойственны существенные недостатки, а именно:

- изменение физико-механических свойств в зависимости от влажности;
- неоднородность строения, а следовательно, неодинаковость свойств в различных направлениях;
- гигроскопичность;
- склонность к гниению и поражению грибковыми заболеваниями;
- повышенная горючесть.

Для повышения эксплуатационных характеристик древесину модифицируют различными физическими и химическими методами. Капиллярное строение древесины позволяет осуществлять наполнение ее различными компонентами в виде растворов и расплавов синтетических смол, легкоплавких металлов и сплавов, солей и мономеров. В результате древесина приобретает свойства, не характерные для природной древесины, прежде всего высокую прочность, износостойкость, влагоустойчивость, негорючесть.

Для защиты древесины от гниения применяют *антисептики* — вещества, обладающие противомикробным действием (фторид натрия, каменноугольное креозотовое масло, битумная паста).

Стойкость древесины к возгоранию повышают обработкой ее *антипиринами*, в качестве которых используют огнезащитные

красочные составы на основе жидкого стекла, содержащие пигменты и наполнители, соли различных металлов, разлагающиеся при повышенной температуре с образованием бескислородной газовой среды.

При наполнении древесины синтетическими смолами с последующей их полимеризацией увеличиваются ее стойкость к тянию, сопротивление сжатию, твердость.

В последнее время широкое применение получили способы радиационно-химического модифицирования древесины. В этом случае полимеризация мономеров с помощью облучения позволяет повысить на 50—90 % прочностные характеристики древесины и в 10 раз снизить ее водопоглощение.

Эффективным приемом улучшения физико-механических характеристик древесины является ее механическое уплотнение с помощью различных устройств. Уплотненная древесина — лигностон («каменное дерево») — находит применение в машиностроении.

Сочетание пропитки с механическим уплотнением обеспечивает достижение комплекса ценных эксплуатационных свойств древесины.

В машиностроении применяются как заготовки на основе натуральной древесины (лесоматериалы), так и древесные материалы на основе дисперсных и слоистых композиций.

В зависимости от вида древесного наполнителя, характера его распределения, типа связующего, технологии изготовления различают следующие виды древесных материалов:

— древесно-слоистые пластики;

— древопластики;

— композиционные древесные пластики.

Древесно-слоистые пластики (ДСП) — наиболее распространенный вид конструкционных материалов на основе древесины. В основу технологии получения ДСП положен процесс прессования заготовок древесины (шпона), пропитанных полимерными смолами, при заданной температуре. Для пропитки шпона используют растворы термореактивных смол, возможно использование и термопластов.

В зависимости от расположения волокон в слоях шпона различают древесно-слоистые пластики марок: ДСП-А, ДСП-Б, ДСП-В, ДСП-Г. Марки ДСП-А и ДСП-Б применяют для изготовления подшипников скольжения; из ДСП-Г изготовляют шкивы, зубчатые колеса. Для снижения коэффициента трения ДСП пропитывают маслами, графитизируют.

Древопластики — это композиционные материалы, полученные уплотнением дисперсных частиц древесины с добавлением связующего (композиционные древопластики) или без него (пьезотермопластики, лигниноуглеродные пластики).

При модифицировании дисперсной древесины суспензиями графита, фторопласта древопластики приобретают комплекс триботехнических и других ценных эксплуатационных свойств. Подшипники из антифрикционных древопластиков обеспечивают надежную эксплуатацию узлов при нагрузках в 2,5 МПа и скоростях скольжения деталей до 1 м/с. Допустимая температура эксплуатации изделий из древопластиков в узлах трения — 80—90°С.

При использовании пьезотермотехнологии, в изготовлении древопластиков под воздействием повышенных температур и давлений в замкнутом объеме пресс-формы происходит синтез новых лигниноуглеродных комплексов в древесине, обеспечивающий монолитизацию дисперсного древесного материала. Пьезотермопластики не требуют специального введения связующего, однако имеют достаточно высокие эксплуатационные свойства.

Лигниноуглеродные древесные пластики (ЛУП) получают переработкой лесосечных отходов, в процессе которой происходит расщепление лигниноуглеродного комплекса древесины.

Для повышения стойкости древопластиков к воздействию ударных и изгибающих нагрузок, их прочности и твердости в состав композиций вводят армирующие компоненты:

— металлическую сетку;
— стружку, волокна и ткани различного состава;
— минеральные дисперсные наполнители.

Наибольшее применение в машиностроении получили армированные древесные пластики (ДПКА-1 и ДПКА-2), содержа-

шие в качестве наполнителя стекло- и углеродное волокно. Марки ДПКА-1 и ДПКА-2 широко применяются для изготовления подшипников скольжения, опор трения и корпусных деталей.

Композиционные древесные пластики (ДКП) получают путем прессования с нагревом частиц древесины, пропитанных растворами полимеров и олимеров, или смешанных с порошками термопластов. При изготовлении используют отходы древесины (опилки, стружки, некондиционный шпон и т. д.). В качестве связующего применяют водо- и спирторастворимые фенолформальдегидные смолы, мочевино- и меламиноформальдегидные, полиэфирные, эпоксидные смолы, смеси различных полимерных материалов.

Разновидностью ДКП являются древесно-стружечные плиты, представляющие собой прессованные композиции из стружки или опилок со связующими, облицованными шпоном. Основные марки *древесно-стружечных плит*: ПС-1, ПТ-1, ПТ-3, ПС-3.

Древесно-волокнистые плиты получают прессованием волокон древесины с добавлением связующих или без него. Материалы такого типа используют при отделке кабин и кузовов автомобилей.

Полимеры и пластические массы

Коррозионная стойкость, технологичность и другие характеристики металлических материалов все чаще не удовлетворяют возрастающим требованиям машиностроения при разработке новых моделей и технологий. Поэтому современное материаловедение занято разработкой новых материалов на основе нетрадиционных материалов, более полным использованием вторичных ресурсов. Важная роль принадлежит созданию новых машиностроительных материалов на основе синтетических, природных и искусственных связующих. Среди наиболее распространенных и перспективных материалов —полимеры и пластические массы.

Классификация и структура полимеров. По происхождению полимеры разделяют на:

— природные;
— синтетические;
— искусственные.

Типичными представителями *природных полимеров* являются целлюлоза, крахмал, натуральный каучук.

Синтетические полимеры представляют собой продукт синтеза — целенаправленного получения сложных веществ из более простых. Номенклатура синтетических полимеров постоянно пополняется.

Искусственные полимеры получают путем обработки (модифицирования) природных. Например, искусственный полимер — нитроцеллюлозу получают путем нитрирования целлюлозы.

По химическому составу макромолекул различают полимеры:

— органические;
— неорганические;
— элементоорганические.

К *органическим полимерам* относят соединения, молекулы которых содержат атомы углерода, водорода, азота, кислорода и серы, входящие в состав главной цепи и боковых групп полимера.

Неорганические полимеры — это соединения, которые не содержат в составе макромолекул атомов углерода.

В процессе получения полимерного соединения мономерные звенья выстраиваются в определенную цепь. По характеру строения полимерных цепей различают полимеры линейного, разветвленного и сетчатого строения (рис. 34).



Рис. 34. Схемы строения полимерных цепей:
а — линейных; *б* — разветвленных; *в* — сетчатых

Полимерные материалы изменяют свои свойства под воздействием температуры. По этому признаку полимеры подразделяют на:

— термореактивные;

— термопластичные.

Термореактивные полимеры (термореакты) при нагревании выше определенных, характерных для этого типа полимера, температур, становятся неплавкими и практически нерастворимыми.

Термопластичные полимеры (термопласты) обладают свойством многократно переходить при нагревании в расплавленное состояние.

Классифицируются полимерные материалы также и по физическим, технологическим и другим свойствам.

Свойства полимеров. Полимерным материалам свойственны только два агрегатных состояния: твердое и жидкое. Перевод полимерного материала в газообразное состояние без разрушения связей в основной цепи макромолекул невозможен.

Полимерные материалы могут находиться в четырех физических состояниях:

— кристаллическом;

— стеклообразном;

— высокоэластическом (твердая фаза);

— вязкотекучем (жидкая фаза).

При охлаждении расплава полимера возможны два механизма перехода его в твердое состояние: кристаллизация и стеклование.

Кристаллизация полимеров происходит при строго определенной температуре. Стеклование характеризуется обратимостью: возможен переход полимера из стеклообразного состояния в расплав в определенном интервале температур (10—20°С). Средняя температура этого интервала называется температурой стеклования полимера.

Состояние полимеров, при котором главным видом деформаций являются большие упругие деформации, называют *высокоэластическим*. При температуре текучести воздействие на полимер механической нагрузки приводит к развитию в нем необратимой деформации — состояние *вязкотекучести*.

Важной особенностью полимерных материалов является сочетание высокой удельной прочности и больших обратимых деформаций. Это их свойство обусловлено наличием в макромолекулах полимеров двух типов связей — прочных внутримолекулярных (межатомных) и более слабых межмолекулярных.

Долговечность полимерных материалов — это отрезок времени от момента приложения нагрузки до разрушения материала. Установлена функциональная зависимость долговечности полимерных материалов от разрушающего напряжения (уравнение Журкова), из которой следует, что прочность полимерных материалов изменяется во времени и зависит от температуры. Поэтому при выборе полимерных материалов по эксплуатационным характеристикам необходимо учитывать не только предельную нагрузку, но и время, в течение которого материал не разрушается.

Прочность полимерных материалов существенно зависит от структуры, которую они приобретают в процессе переработки. Широко используется метод упрочнения полимеров путем ориентации макромолекул. Ориентированные полимерные материалы (волокна, пленки) обладают анизотропией свойств, благодаря чему находят применение в практике.

Для улучшения свойств полимерных материалов применяют их физическое и химическое модифицирование — введение в составы:

— стабилизаторов;
— пластификаторов;
— смазок;
— антипиренов;
— красителей;
— легирующих элементов.

Для повышения пластичности и (или) эластичности полимерного материала при его переработке перед эксплуатацией в его состав вводят *пластификаторы* (эфиры кислот и гликолей, полиэфиры, хлорсодержащие соединения). Для пластификации каучуков применяют продукты переработки нефти (парафин, церезин, нефтяные масла) и каменного угля, растительные масла, жирные кислоты.

Противоположным пластификации эффектом обладают *антипластификаторы*, обеспечивающие повышение жесткости связи макромолекул при введении небольших добавок с полярными группами в стеклообразные полимеры.

Для защиты полимерных материалов от старения применяют *стабилизаторы*. Принцип действия стабилизаторов основан на подавлении процессов разрушения полимерных макромолекул под воздействием внешних факторов. Различают стабилизаторы следующих типов:

- антиоксиданты (замедляющие термическое и термоокислительное разрушение);
- антиозонанты (замедляющие озоновое старение);
- светостабилизаторы (препятствующие фотоокислительному разрушению под воздействием солнечных лучей);
- антирады (препятствующие разрушению полимерного материала под воздействием радиационного излучения);
- противоутомители (замедляющие процессы усталостных явлений в материале).

Стабилизаторы вводят в небольших количествах (0,01—2 % по массе) при синтезе или переработке полимеров.

Требуемый цвет изделиям из полимеров придают красители. Они должны хорошо смешиваться с полимерным материалом, иметь высокую дисперсность, обладать достаточной термо-, свето-, атмосферостойкостью и стойкостью к воздействию технологических сред (эксплуатационные жидкости). Различают органические и неорганические красители (пигменты). В качестве красителей широко применяются оксиды металлов (TiO_2, Fe_2O_3), соли металлов (синий хобальт, ультрамарин), сажа.

Сшивающие агенты вводят в полимеры для достижения требуемой степени сшивки макромолекул, обеспечивающей определенный комплекс эксплуатационных характеристик полимерных материалов.

К сшивающим агентам относятся отвердители смол и вулканизирующие агенты резин. Для сшивки каучуков применяют серу, селен, фенольные смолы. Отвердителями эпоксидных, полиэфирных, фенольных смол служат многофункциональные

соединения (гликоли и др.) и вещества, вызывающие процессы полимеризации (перекиси и др.).

Порообразующие вещества (порофоры) служат для вспенивания полимерного материала с целью придания ему звуко- и теплоизоляционных свойств, снижения объемной массы, повышения точности детали. При переработке полимеров порофоры разлагаются с образованием газообразных продуктов.

К *специальным ингредиентам* относят:

- технологические смазки, облегчающие извлечение полимерных изделий из пресс-формы;
- вещества, уменьшающие горючесть полимеров (антипирены);
- вещества, снижающие статическую электризацию полимеров (антистатики);
- вещества, устраняющие биологическую повреждаемость полимеров (антимикробные добавки);
- вещества для придания специальных свойств (водонепроницаемость и др.) текстильным изделиям (аппреты).

Номенклатура конструкционных полимеров. Наибольшее распространение в качестве конструкционных материалов, лаков, пленок, красок и клеев в машиностроении получили такие полимеры, как полиолефины, поливинилхлорид, полиамиды, полиацетали, фторопласты, полиуретаны, а также фенолформальдегидные, эпоксидные, полиэфирные, кремнийорганические и полиамидные смолы.

Полиолефины — высокомолекулярные углеводороды, получаемые полимеризацией соответствующих олефинов (полиэтилен, полипропилен и их многочисленные сополимеры).

Полиэтилен. Типичный представитель подгруппы полиолефинов. В зависимости от условий полимеризации (давление, вид катализатора, температура) получают продукт различной молекулярной массы.

Различают полиэтилен:

- высокого давления и низкой плотности (ПЭВД и ПЭНП);
- низкого давления и высокой плотности (ПЭНД и ПЭВП);
- среднего давления (ПЭСД);
- высокомолекулярный низкого давления (СВМПЭ).

Полиэтилен обладает рядом ценных свойств: влаго- и газонепроницаем, не набухает в воде, эластичен в широком интервале температур, устойчив к действию кислот и щелочей, обладает очень хорошими диэлектрическими свойствами.

Сочетание высокой химической стойкости, удовлетворительных механических свойств с технологичностью переработки (перерабатывается всеми известными способами: литьем под давлением, механической обработкой, вакуумформованием, сваркой и др.) и низкой стоимостью определяет его широкое применение в машиностроении, радиотехнике, химической промышленности.

Полиэтилен низкого давления обладает большей механической прочностью и жесткостью и используется для изготовления труб, шлангов, листов, пленки, деталей радиоаппаратуры, различных емкостей. Литьем под давлением изготовляют вентили, краны, зубчатые колеса, работающие с малой нагрузкой. Полиэтилен высокого давления применяют как упаковочный материал в виде пленки или в виде небьющейся тары (бутылки, канистры, ящики).

Однако ввиду недостаточной механической прочности для изготовления деталей машин его применяют ограниченно. Главный недостаток полиэтилена — его невысокая теплостойкость, изделия из него рекомендуется использовать при температурах не выше 80°С.

Полипропилен — синтетический полимер, характеризуется температурой плавления около 170°С. По сравнению с полиэтиленом отличается более высокой ударной вязкостью, прочностью, износостойкостью, обладает высокими диэлектрическими свойствами, низкой паро- и газопроницаемостью, устойчив к действию кипящей воды и щелочей, но обладает низкой термо- и светостойкостью. Применяется для изготовления деталей, работающих в контакте с агрессивными жидкостями.

Поливинилхлорид (ПВХ) представляет собой высокомолекулярный продукт полимеризации винилхлорида ($CH_2 = CHCl$).

В основу классификации ПВХ положен способ его полимеризации: буквы «СВ», «Е», «М» в обозначении марок соответствуют суспензионному, эмульсионному и массовому (полимеризацией в массе) способам получения. Следующие за буквой

две цифры указывают на среднюю молекулярную массу ПВХ, определяемую константой Фикентчера (К). Стоящие после цифр буквы указывают область применения и свойства ПВХ: Т — термостабилизированный, М — для изготовления мягких материалов, Ж — для переработки в жесткие материалы и изделия, П — пастообразующий. Например, ПВХ-М64 — поливинилхлорид, полученный полимеризацией в массе, с К = 64—66.

Пластифицированный поливинилхлорид называют *пластикатом*, непластифицированный (жесткий) листовой материал — *винипластом*.

Пластмассы на основе поливинилхлорида обладают хорошими диэлектрическими и механическими свойствами, обладают высокой стойкостью к знакопеременным нагрузкам и вибрациям, эластичностью, химической стойкостью.

Поливинилхлорид нашел широкое применение в машиностроении, кабельной и химической промышленности, сельском хозяйстве, промышленности стройматериалов для изготовления пленок, листов, труб, искусственной кожи, линолеума, клеев.

Винипласт. Достоинствами винипластов являются высокие механические свойства, химическая стойкость, технологичность переработки в изделия, обрабатываемость резанием.

Рабочая температура винипласта от 0 до 40°С, при резких колебаниях температуры коробится, а при нагреве выше 40°С разупрочняется и теряет жесткость. Винипласт при пониженных температурах становится хрупким. Он не горит, но при температуре 120—140°С начинает размягчаться, что используется при сварке изделий из винипласта. Температура разложения 160—200°С. Склонен к старению под влиянием атмосферных воздействий и химических реагентов.

Винипласт выпускают преимущественно в виде листов и профильного проката (труб, прутков, уголка и т. п.). Изделия из винипласта изготовляют выдавливанием, штамповкой при температуре 130°С; механической обработкой; сваркой; склейкой перхлорвиниловым клеем.

Из винипласта изготовляют емкости в химическом машиностроении, корпуса и сепараторы для аккумуляторных батарей,

вентили, клапаны, фитинги для трубопроводов, детали насосов и вентиляторов и другие изделия.

Во все композиции на основе поливинилхлорида вводят стабилизирующие вещества для защиты от теплоты и света. Например, сажа, поглощая свет, служит светостабилизатором.

Фторопласты. Эти полимеры состоят преимущественно из углерода и фтора: тетрафторэтилен ($CF_2=CF_2$), винилфторид ($CH_2=CHF$) и др.

Достоинствами фторопластов является высокая стойкость к воздействию агрессивных сред, в том числе сильных кислот, щелочей, за исключением плавиковой (фтористо-водородистой) кислоты. Фторопласты термостойки — температура их интенсивного термоокислительного разложения составляет 400°С. Фторопласты некоторых марок обладают уникальными антифрикционными свойствами, износостойкостью при трении без подвода смазочного материала.

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) — наиболее широко распространенный представитель фторопластов: фторопласт-4, тефлон, флюон. ПТФЭ является самым стойким из всех машиностроительных материалов к воздействию агрессивных сред, климатических факторов, микроорганизмов.

Наибольшее применение в промышленности получили непрозрачные для света фторопласт-4 и фторопласт-3. Фторопласт-4 химически абсолютно стоек. На него оказывают действие только расплавы солей щелочных металлов и фтор при высоких температурах. Коэффициент трения фторопласта-4 в семь раз ниже коэффициента трения хорошо полированной стали, что способствует его использованию в машиностроении для трущихся деталей без применения смазки, но при незначительных нагрузках, так как фторопласт-4 обладает хладотекучестью, увеличивающейся с повышением температуры. Для устранения этого существенного недостатка в состав композиций вводят различные модификаторы и наполнители. Фторопласт-4 работает в интервале температур от −250 до +260°С.

Фторопласт-4 применяют для изготовления конденсаторных и электроизоляционных пленок, антифрикционных материалов, самосмазывающихся вкладышей подшипников, уплотнитель-

ных деталей — прокладок, набивок, работающих в агрессивных средах; труб, гибких шлангов, кранов, тары пищевых продуктов; его используют в восстановительной хирургии. Фторопласты также нашли применение для защиты металла от воздействия агрессивных сред. Покрытие производится из суспензий или эмульсий с последующим спеканием.

Фторопласт-4 не перерабатывается в изделие обычными для термопластов методами, так как не переходит в вязкотекучее состояние. Изделия из фторопласта-4 получают спеканием при температуре 350—370°С порошка, спрессованного по форме детали.

Разработаны различные его модификации — фторопласт-4Д, фторопласт-4М (-4МБ, -4МБ-2, -4МД), фторопласт-4НА и др. Они более технологичны в переработке, допускают возможность изготовления изделий литьем под давлением.

Для изготовления пленок, лаков, волокон, тканей, защитных покрытий применяется фторопласт-3 (фторлон-3, дайфлон, флюоретен). Фторопласт-3 при нагреве до температуре 210°С размягчается и плавится, что и дает возможность перерабатывать его методом литья под давлением.

Полимеры сложных виниловых эфиров используются в качестве основы адгезионных материалов. Представителями этой подгруппы являются *поливинилацетат (ПВА)* и *поливинилбутираль (ПВБ)*.

Полиамиды — полимерные материалы, содержащие в основной цепи макромолекул азот и являющиеся одним из самых распространенных конструкционных полимерных материалов.

В зависимости от состава компонентов, условий полимеризации возможно получение полиамидов с различными механическими и теплофизическими свойствами. Отечественная промышленность выпускает полиамиды различных марок: П6 (капрон), П66 (анид), капролон и др.

Капрон получил наибольшее распространение как относительно дешевый и наименее дефицитный материал из многих марок полиамидов. Главным его достоинством как конструкционного материала является сочетание высокой прочности, износо-, тепло- и химической стойкости с технологичностью переработки в изделие.

Износостойкость капрона в несколько раз выше, чем стали, чугуна и некоторых цветных металлов. Наилучшими антифрикционными свойствами обладает капрон с добавлением 3—5 % графита.

Для изготовления деталей из капрона и других полиамидов наиболее широко используют метод литья под давлением. Капрон хорошо обрабатывается резанием, склеивается и сваривается. Из него выполняют детали антифрикционного назначения, подшипники, зубчатые колеса, кронштейны, рукоятки, крышки, корпуса, трубопроводную арматуру, прокладки, шайбы. Используют полиамиды также для изготовления нитей, корда, тканей.

Полистирол представляет собой продукт полимеризации стирола.

Выпускают следующие виды полистирола и материалов на его основе:

— общего назначения;
— ударопрочный;
— вспенивающийся;
— акрилонитрилбутадиенстирольные пластики (АБС);
— сополимеры стирола.

Полистирол общего назначения — это бесцветный прозрачный материал, обладающий абсолютной водостойкостью, высокими электроизоляционными свойствами, светостойкостью и твердостью. Полистирол стоек к щелочи, к щелочным и кислым средам. Главное применение полистирола этого вида — детали радиоаппаратуры, неответственные конструкционные детали, изделия бытового назначения. Ответственные детали из этого вида полистирола не изготовляют ввиду его хрупкости.

В технике широко применяют сополимеры стирола. Сополимеризация улучшает свойства чистого полимера (механическую прочность, теплостойкость). При сополимеризации стирола с нитрильным каучуком получают материал ПКНД, обладающий большой гибкостью, и более прочный материал СНП.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) обладает прозрачностью, твердостью, стойкостью к атмосферным воздействиям, водостойкостью, стойкостью ко многим минеральным и органическим растворителям, высокими электроизоляцион-

ными и антикоррозийными свойствами. Он выпускается в виде прозрачных листов и блоков.

Органические стекла выгодно отличаются от минеральных низкой плотностью, упругостью, отсутствием хрупкости, более высокой светопрозрачностью, легкой формуемостью в детали сложной формы, простотой механической обработки, а также свариваемостью и склеиваемостью. Однако органические стекла, в отличие от минеральных, обладают более низкой поверхностной твердостью. Поэтому поверхность органического стекла легко повреждается, и его оптические свойства резко падают. Кроме того, органическое стекло легко воспламеняется.

Крупные изделия из органического стекла методом формования при помощи вакуума изготовляют из разогретых листов, мелкие — штамповкой, вытяжкой, вдуванием горячим воздухом.

Органическое стекло растворяется в дихлорэтане. Раствор органического стекла в дихлорэтане используют в качестве клея для соединения стекла.

Органическое стекло применяется для изготовления санитарно-технического оборудования, светильников, фонарей, деталей приборов управления.

Поликарбонаты — это термопластические материалы, обладающие ценными свойствами: высокой поверхностной твердостью, ударной прочностью и теплостойкостью. Они водостойки и стойки к окислительным средам при повышенных температурах, морозостойкости (до −100°С), обладают хорошими электроизоляционными свойствами.

Поликарбонаты обладают высокой прозрачностью и могут быть использованы вместо силикатного стекла. Применяются для изготовления зубчатых колес, втулок, клапанов, кулачков и т. п., а также электроизоляционных деталей. Поликарбонаты перерабатываются в изделия всеми способами, применяемыми для изготовления изделий из термопластов.

Полиимиды — это термопластичные пластмассы, обладающие высокой нагревостойкостью (до 250°С), хорошими электрическими характеристиками и механическими свойствами. Способны выдерживать ударные нагрузки, морозостойки. Изделия из

полиимидов успешно эксплуатируются при температурах от −200 до 350°С (кратковременно до 400°С).

Полиимиды химически стойки. Они не растворяются в большинстве органических растворителей, на них не действуют разбавленные кислоты, минеральные масла и вода. Разрушение полиимидов вызывают концентрированные кислоты и щелочи, а также перегретый водяной пар.

Полиимиды применяют для получения конструкционных материалов, клеев, пленок, лаков. Из полиимидов изготовляют электроизоляционные пленки светло-желтой или коричневой окраски. Полиимидные пленки выпускают толщиной от 5 до 100 мкм и более. Используют как чистые полиимиды, так и наполненные стекловолокном и другими нагревостойкими наполнителями. Изделия из полиимидов изготовляют литьем под давлением и прессованием.

Пентапласт — это полимер, отличающийся химической стойкостью и атмосферостойкостью. По водостойкости пентапласт сравним с фторопластами, полиэтиленом и полистиролом.

Кремнийорганические полимеры (силиконы). Важнейшими свойствами применяемых силиконов является высокая термическая стойкость, стойкость к воздействию окислительных и агрессивных сред, высокие диэлектрические свойства.

На основе силиконов разработаны клеи, лаки, эмали, смазки. Для повышения адгезионных свойств лаков и эмалей в состав силиконов вводят эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы. Силиконы широко применяются в электротехнической промышленности, машино- и авиастроении. Каучуки, модифицированные силиконами, используют для получения морозостойких и теплостойких резин.

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) — лавсан, представляет собой сложный полиэфир. ПЭТФ не растворяется в большинстве органических растворителей, имеет высокую температуру плавления (255—260°С), стоек к действию слабых щелочей, смазок, масел, спиртов, эфиров. В основном лавсан применяется в виде пленок и волокон, которые получают из расплава.

Полиформальдегид (ПФ) и сополимеры формальдегида — СФД и СТД. Материалы этой группы характеризуются сочета-

нием высоких показателей ударной вязкости, модуля упругости при растяжении и изгибе. По механическим характеристикам они превосходят большинство термопластов, отличаются высокой износостойкостью, низким коэффициентом трения, малой ползучестью.

Основные области применения полиформальдегидов — детали машин, в том числе детали узлов трения.

Фенолоформальдегидные смолы — продукт взаимодействия фенола с фольмальдегидом; обладают высокой атмосферо- и термостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами. Они растворяются в растворах едких щелочей, фенолах и многих органических растворителях. Применяются для изготовления пролиточных композиций, клеев, лаков и в качестве основы композиционных материалов.

Фенопласты изготовляют на основе фенолформальдегидных смол, они широко распространены благодаря простому и дешевому способу получения сырья и его переработки в изделия. Фенопласты отличаются высокими физико-механическими свойствами, а также стойкостью к кислотам, щелочам и органическим растворителям. Из фенолформальдегидных смол с вводом наполнителей получают пресс-порошки, волокнистые и слоистые пластики.

Среди термореактивных полимерных материалов наиболее перспективны ароматические полиамиды. Промышленное значение имеет ароматический полиамид — *фенилон* (П, С1, С2). Фенилоны благодаря высоким механическим свойствам, износо-, термо- и теплостойкости, химической стойкости применяют для изготовления деталей узлов трения, в том числе эксплуатируемых при повышенных температурах (до 220°С), давлениях рабочей среды (до 35 МПа), нагрузках (до 20 МПа).

Текстолит — это слоистый полимерный материал, где в качестве наполнителя используется хлопчатобумажная ткань, а в качестве связующего — фенолформальдегидная смола.

Текстолит обладает относительно высокой механической прочностью, малой плотностью, высокими антифрикционными свойствами, высокой стойкостью к вибрационным нагруз-

кам, износостойкостью и хорошими диэлектрическими свойствами.

Текстолит нашел широкое применение как заменитель цветных металлов для вкладышей подшипников скольжения, для изготовления зубчатых шестерен в автомобилях и других технических изделий для авиа- и машиностроения. Текстолитовые шестерни в отличие от металлических работают бесшумно. Из электротехнического текстолита изготовляют детали повышенной прочности электроустановок для работы на воздухе и в трансформаторном масле.

Гетинакс изготовляют горячей прессовкой листов бумаги, пропитанной фенолформальдегидной смолой. Обладает высокими диэлектрическими свойствами, но меньшей, чем текстолит, механической прочностью. Гетинакс выпускают под марками А, Б, В, Г. Марки А и Б отличаются повышенными диэлектрическими свойствами, марки В и Г — повышенной механической прочностью.

Гетинакс применяется для изготовления изоляционных деталей электрооборудования, декоративных материалов для отделочных работ, а также для изготовления фасонных изделий технического и бытового назначения.

Асботекстолит изготовляют горячим прессованием на основе асбестовой ткани, пропитанной фенолформальдегидной смолой. Для повышения механической прочности и теплопроводности асбестовая ткань может армироваться медной проволокой.

Асботекстолит устойчив к резким колебаниям температуры и влажности, отличается высокими фрикционными, электроизоляционными и теплоизоляционными свойствами. Однако асботекстолит не следует подвергать действию температуры свыше 370°С во избежание разрушения асбеста из-за потери гигроскопической воды, а также контакту с водой и маслом, которые, как и нагрев, снижают коэффициент трения.

Из асботекстолита изготовляют фрикционные накладки для тормозных колодок и дисков сцепления. Замасленные асботекстолитовые накладки следует промывать бензином. Накладки дисков сцепления и тормозных колодок могут быть изготовлены с добавкой каолина.

Карболит представляет собой пластмассу, в которой наполнителем служат древесная мука или глина. Рабочая температура эксплуатации деталей из карболита не должна превышать 80°С, и их следует оберегать от влаги.

Из карболита изготовляют крышку и ротор прерывателя-распределителя, изоляторы катушки зажигания и другие электротехнические детали.

Полиарилаты — синтетические полимеры, обладающие высокой прочностью, термостойкостью (температура терморазложения около 700°С), огнестойкостью. Устойчивы к воздействию ультрафиолетового и ионизирующего излучений, растворов минеральных и органических кислот, некоторых окислителей, бензина.

Применяются полиарилаты для изготовления конструкционных деталей, работающих при высокой температуре.

Эпоксидные смолы — синтетические полимеры, обладающие высокой адгезией к металлам, стеклу, керамике и другим материалам. Отвержденные эпоксидные смолы устойчивы к воздействию щелочей, окислителей и большинства неорганических кислот, но разрушаются в органических кислотах, углеводородах.

Применяются эпоксидные смолы в качестве связующих в композиционных материалах, клеях, лаках.

Стеклопластики изготовляют из синтетических смол (связующих) и стеклянного волокна (армирующий, усиливающий наполнитель). В качестве связующего чаще всего используют эпоксидные, фенолформальдегидные, полиэфирные и кремнийорганические смолы. Наполнитель — стеклянное волокно толщиной в тысячные доли миллиметра пронизывает каждый миллиметр пластмассы.

Стеклопластики обладают особо высокой механической прочностью, теплостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами и стойкостью против воздействия воды, масел, топлив, разбавленных кислот и многих органических растворителей.

В автомобилестроении из стеклопластиков изготовляют кузова и другие крупногабаритные и высоконагруженные детали.

Газонаполненные пластмассы состоят из мельчайших ячеек или пор, отделенных друг от друга тонкой пленкой полимера;

материалы, состоящие из замкнутых, не сообщающихся ячеек, называются *пенопластами*, а материалы, в которых преобладают сообщающиеся между собой поры, — *поропластами*. Когда от материала требуются высокие тепло- и электроизоляционные свойства, применяют пенопласты. Для звукоизоляции используют поропласты.

Пено- и поропласты получают насыщением расплавленной смолы вспенивателями, при этом происходит вспенивание полимера.

Наибольшее применение из пенопластов получили пенополиуретаны. Например, пенополиуретан ПУ-101, обладающий высокой эластичностью, используется для изготовления автомобильных сидений и спинок.

Фольгированные пластмассы представляют собой слоистый пластик (гетинакс, стеклотекстолит), облицованный с одной или двух сторон медной фольгой толщиной 35 или 50 мкм. Медную фольгу получают электролитическим осаждением. Склеивание фольги с пластиком производят клеем БФ-4 в процессе прессования.

Фольгированные пластмассы имеют специальное назначение: их применяют при изготовлении плат с печатным монтажом в радиоэлектронике, кодовых переключателей автомобильной охранной сигнализации, печатных якорей микроэлектродвигателей и других деталей.

Неорганические полимеры. Среди неорганических полимеров наибольшее практическое применение получили углерод, кремний, германий, бор и селен. Полимерная форма углерода — графит используется не только как самостоятельный машиностроительный материал, но и как составляющая композиционных материалов. Графит и материалы на его основе применяют в автомобилестроении для изготовления деталей узлов трения (выжимной подшипник сцепления), подвижных контактов приборов электрооборудования автомобилей (центральный контакт крышки прерывателя-распределителя, щетки генератора и стартера) и др. Кремний используется при изготовлении полупроводниковых приборов. Кристаллический бор представляет собой вещество, по твердости уступающее только алмазу. Его

применяют для повышения термостойкости и твердости деталей ответственного назначения. Например, для покрытия компрессионных поршневых колец.

Технология переработки полимеров. Термопласты перерабатывают в изделия на высокопроизводительном оборудовании, принцип работы которого основан на свойстве материала обратимо переходить в вязкотекучее состояние. Промышленное применение получили следующие методы переработки термопластов:

— экструзией (выдавливанием);
— литьем под давлением;
— компрессионным формованием;
— спеканием;
— механической обработкой.

Экструзия (выдавливание) — процесс получения изделий или полуфабрикатов заданной формы и размеров путем продавливания расплава полимерного материала через формующее отверстие.

Методом экструзии получают трубы, пленки, листы, кабели и профили. Основным оборудованием являются экструдеры — машины, снабженные устройством для непрерывного пластицирования полимера, которая осуществляется червяками или дисками.

Литье под давлением — этот метод переработки термопластов в изделие основан на нагреве материала до вязкотекучего состояния и последующем охлаждении перемещенного под давлением расплава в форме до обеспечения его формоустойчивости.

Методом литья под давлением получают изделия конструкционного, антифрикционного, общего назначения широкого ассортимента.

Метод компрессионного формования. Сущность метода заключается в придании требуемой формы нагретому до высокоэластического состояния листу (пленке) с помощью сжатого воздуха (пневмоформование) или вакуума (вакуум-формование). Методом компрессионного формования получают изделия сложной конфигурации с большими геометрическими размерами — детали автомобилей, корпуса радио- и телеаппаратуры, корпуса лодок и др.

Методом спекания перерабатывают термопласты с высокой температурой плавления и большой вязкостью расплава (фторопласты). Технология спекания состоит из операций смешения компонентов, холодного формования смеси под давлением, спекания изделий и охлаждения. Спекание изделий производят при температуре, на 5—10°С превышающей температуру плавления базового термопласта. Для предупреждения окисления изделий при спекании применяется защитная газовая среда (азот, углекислый газ).

Термореактивные полимерные материалы перерабатывают в изделия методами:

— прессования;
— литья под давлением;
— центробежного формования;
— намотки.

Наиболее распространенным методом переработки термореактивных пластмасс является **прессование**:

— прямое (компрессионное);
— литьевое (трансферное);
— роторное;
— непрерывное профильное.

Общими процессами для прессования всех видов являются:

— загрузка пресс-композиции в форму;
— перевод ее в вязкотекучее состояние;
— оформление заготовки изделия под давлением;
— фиксация формы изделия под воздействием давления и температуры;
— охлаждение изделия.

Технологический процесс изготовления изделий из пресс-порошков включает следующие основные операции:

— подготовку материалов и их дозирование;
— предварительный подогрев таблетированного материала;
— загрузку его в пресс-форму;
— смыкание пресс-формы;
— подпрессовку;
— выдержку под давлением;
— разъем пресс-формы и подготовку ее к следующему циклу.

Литьевое прессование включает аналогичные технологические операции. Конструктивной особенностью пресс-форм, применяемых при этом методе, является наличие специальной загрузочной камеры (форкамеры), из которой вязкотекучий материал продавливается в оформляющую полость.

Применение пластмасс при ремонте. Пластические массы в качестве ремонтных материалов используются для выравнивания неровностей поверхностей, заделки трещин, раковин, выщербин у деталей, склейки деталей, наращивания изношенных поверхностей, нанесения защитных и декоративных покрытий, антифрикционных слоев, а также для изготовления некоторых деталей взамен вышедших из строя металлических или пластмассовых.

Эпоксидные пасты применяют для выравнивания поверхности вместо свинцово-оловянистых припоев. Эпоксидные пасты приготовляются на базе эпоксидных шпаклевок ЭП-00-10 с добавлением к ним наполнителя — измельченного асбеста сухого или пропитанного лаком этиноль и отвердителя. Под действием вводимого отвердителя паста становится твердой, неплавкой и нерастворимой. Отвердителем служит 50 %-ный раствор гексаметилендиамина в спирте (отвердитель № 1).

Эпоксидные пасты широко используются взамен сварки при ремонте кузовов, трещин на рубашке охлаждения и в клапанной коробке блока цилиндров, пробоин стенок рубашки охлаждения блоков цилиндров, трещин головки цилиндров, обломов в головке цилиндров в месте крепления датчика указателя температуры охлаждающей жидкости, пробоин в поддоне картера двигателя и др. Отремонтированные детали надежно работают при температуре до 120°С.

Эпоксидные пасты в этих случаях состоят из эпоксидной смолы (ЭД-6 или Э-40), пластификатора (дибутилфталат), наполнителя (асбест измельченный, графит, хлопчатобумажные и льняные ткани, стеклоткань и др.) и отвердителя (полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин, фталевый или малеиновый ангидрид).

Пасты со стеклотканью позволяют накладывать из них 4—5-слойные заплаты на поврежденное место двигателя. При заделке

ке трещин и пробоин кузовов применяют 2—3-слойные заплаты из хлопчатобумажной ткани, пропитанной пастой без наполнителя.

Пластмассовые порошки (ПФН-12 и ТПФ-37) применяются для выравнивания поверхности путем газопламенного напыления. Порошки ПФН-12 и ТПФ-37 относятся к термопластикам. Они в распыленном состоянии обладают исключительно высокой адгезией к металлу, легко принимают любую форму, стойки к действию органических кислот, жирных углеводородов, масел.

Полиамидные (капроновые) порошки используют для получения антифрикционных слоев подшипников скольжения.

Капрон, особенно в сочетании с закаленной сталью, обладает исключительной износостойкостью и практически исключает износ сопрягаемых деталей, он имеет незначительный коэффициент трения и поэтому частично допускает работу без смазки. Капроновое покрытие защищает металл от коррозии и действия щелочей, слабых кислот, бензина, ацетона.

Полиамидные порошки наносятся на подготовленную металлическую поверхность методами газопламенного или вихревого напыления.

Полиамидную массу — капрон — используют для изготовления методом литья под давлением декоративных и конструкционных деталей.

Наращивание изношенных поверхностей деталей пластмассами весьма перспективно. Широкое применение получают пластмассы для нанесения декоративных и защитных покрытий (пленок) на металлические детали. Металл с нанесенным пластмассовым покрытием называют **металлопластом.** В качестве покрытия для малоуглеродистой стали в промышленности используется поливинилхлоридная пленка, а также полиэтилен, полиамиды и другие пластмассы.

Защитные и декоративные покрытия наносят вихревым напылением (порошки), кистью (растворы) и лопаткой (пасты). Замена хромирования нанесением эпоксидных мастик на такие детали, как стойки, поручни, дужки сидений автобусов, в производственных условиях дает снижение затрат в несколько раз,

не ухудшая внешнего вида деталей и надежности покрытия против коррозии.

Контрольные вопросы

1. *Каким образом повышаются эксплуатационные характеристики древесины?*
2. *Какие существуют виды лесоматериалов?*
3. *Как характеризуются термореактивные полимеры?*
4. *Каким свойством обладают термопластичные полимеры?*
5. *Каким образом достигается улучшение свойств полимерных материалов?*

Электроизоляционные, прокладочные, уплотнительные, обивочные и клеящие материалы

В качестве электроизоляционных материалов могут применяться только такие материалы, которые не проводят электрический ток или проводят его очень слабо. Они должны также обладать необходимой механической прочностью, тепло- и влагостойкостью. Такими материалами являются уже рассмотренные древесные материалы, пластмассы, а также резины, электроизоляционные лаки, асбест, фибра, слоистые пластики.

Кроме того, для этих целей используются изоляционная лента, пресшпан, слюда и др.

Бумага — листовой материал, изготовленный из растительных волокон и целлюлозы. Целлюлоза — растительные волокна, очищенные от смол и других компонентов. Картон — специально обработанная толстая бумага (толщиной 0,25—3 мм). В зависимости от способа обработки картон приобретает масло- и бензостойкость, электро- и термоизоляционность. Бумагу и картон применяют как электроизоляционный, прокладочный и уплотнительный материал.

Фибра — разновидность бумажного материала, изготовляют ее из бумаги, пропитанной раствором хлористого цинка. Отличается высокой прочностью и хорошо поддается механической обработке, масло- и бензостойка. Недостаток фибры — значительная гигроскопичность (влагопоглощаемость), поэтому при увлажнении она деформируется. Фибры применяются для изготовления шайб, прокладок и втулок.

Прессшпан — выпускается в виде листов твердого картона. Его получают из бумажной массы, пропитанной льняным маслом. Он применяется для изоляции в электрических машинах.

Слюда — представляет собой тугоплавкий слоистый минерал, легко расщепляющийся на тонкие прозрачные листочки. Слюда обладает высокими электроизоляционными свойствами и применяется как диэлектрик в конденсаторах, коллекторах, электрогенераторах и стартерах, в электронагревательных приборах.

Листочки слюды, склеенные глифталевой смолой под горячим прессованием, называют **миканитом.**

Изоляционные лаки (№ 458, 460, 447, 13, 1154 и др.) представляют собой смесь асфальта или битума, растительного масла, органического растворителя и сиккатива. Они применяются для изоляции обмоток полюсных катушек генераторов и стартеров, а также для защиты электродеталей от влаги и нефтепродуктов.

Изоляционная прорезиненная лента представляет собой суровую тонкую хлопчатобумажную ткань (миткаль), пропитанную с одной или двух сторон липкой сырой резиновой смесью.

Липкая изоляционная лента — это пленочный пластик, покрытый слоем перхлорвинилового клея. Изоляционные ленты выпускают различных размеров и цветов. Для придания плотности и герметичности соединениям деталей машин (трубы, различные соединения и др.) и устранения возможного просачивания жидкости и прорыва газов используют прокладочные и уплотнительные материалы.

Паронит — листовой материал из асбеста, каучука и наполнителей. Применяют для уплотнения водяных и паровых магистралей, а также для уплотнения трубопроводов и арматуры для нефтепродуктов: бензина, керосина, масла.

Войлок — листовой пористый материал, изготовленный из волокон шерсти. Воздушные поры в нем составляют не менее 75 % объема. Он обладает высокими тепло- и звукоизолирующими, а также амортизирующими свойствами. Войлок используют для набивки сальниковых уплотнений и изготовления прокладок.

Материал обычно используемых уплотнительных прокладок (паронит, картон и др.) не всегда обеспечивает надежную и длительную герметичность соединений. Под действием температуры и вибрации прокладки со временем претерпевают ряд изменений, теряют свои уплотняющие свойства, в них возникают разрывы и трещины. В процессе эксплуатации это приводит к утечке масла, топлива и др. Для устранения таких неисправностей применяют различные **герметики.**

Уплотняющая жидкая прокладка ГИПК-244 предназначена для герметизации неподвижных соединений деталей и сборочных единиц, работающих в водяной, пароводяной, кислотно-щелочной и маслобензиновых средах.

Уплотняющая замазка У-20А предназначена для герметизации соединений в воздушной и водяной средах.

Герметик Эластосил 137-83 герметизирует неподвижные соединения в водяной, пароводяной, кислотно-щелочной и масляной средах.

Анаэробный клей ДН-1 обеспечивает герметизацию соединений с зазорами до 0,15 мм.

Минеральная вата — продукт переработки металлургических или топочных шлаков. Служит для изоляции поверхностей с низкими и высокими температурами нагрева. Возможно также применение минераловатных плит, проклеенных фенольной смолой или битумной эмульсией.

Важнейшее требование к обивочным материалам — необходимая механическая прочность, эластичность и износостойкость, от которых зависит срок их службы.

Обивочные материалы одновременно являются и декоративными, поэтому они должны иметь красивый внешний вид, иметь определенный цвет, рисунок, поверхность, выработку. Должны легко очищаться от пыли и других загрязнений и до-

пускать обработку дезинфицирующими растворами. Важно, чтобы обивочные материалы допускали возможность их ремонта, в том числе методом склеивания.

Дерматин на молескине представляет собой хлопчатобумажную ткань, на которую нанесен тисненый слой нитроцеллюлозы с добавкой пигмента, пластификатора и наполнителя.

Автобин имеет в качестве основы также хлопчатобумажную ткань, на одну сторону которой нанесен тисненый слой хлоринсмолы с пластификатором и пигментом.

Эти материалы эластичны, влагостойки, износостойки, но чувствительны к повышенным и пониженным температурам, а также подвержены разрушающему действию активных растворителей.

Для обивочных работ, кроме указанных, применяется большая номенклатура других тканых и синтетических материалов.

Клеи предназначены для создания из различных материалов неразъемных соединений требуемой прочности.

Процесс склеивания основан на сцеплении клея с поверхностью материалов. Способ склеивания упрощает и ускоряет технологический процесс изготовления изделия. Клеевые соединения в некоторых случаях являются единственно возможными видами соединений между собой разнородных материалов.

Современными клеями склеивают различные пластические массы, силикатные и органические стекла, натуральные и искусственные кожи, каучуки и резины, керамику, изделия из бумаги и картона, различные породы дерева, хлопчатобумажные и шерстяные ткани, изделия из синтетических волокон, а также металлы и сплавы, неметаллические материалы и их сочетания (табл. 1).

Показателем механической прочности клеевых соединений металлов является предел прочности при сдвиге. Высокая прочность клеевого соединения может быть обеспечена только при применении клея соответствующего состава и соблюдении технологического процесса склеивания:

— очистка и шероховка соединяемых поверхностей;
— обезжиривание их;
— нанесение клея тонким слоем и просушивание его;

Таблица 1

Применение клеев

Марка	Назначение
ВИАМ Б-3	Склеивание текстолита, фанеры и дерева
БФ-2 и БФ-4	Склеивание металлов и сплавов, керамики, стекла, дерева, кожи, текстолита, органического стекла
Клей 88П	Склеивание холодным способом вулканизированной резины с металлом, кожей, деревом, стеклом
Бакелитовый	Склеивание текстолита, гетинакса, стекла и стеклоткани
ПЭД-Б	Склеивание винипласта, поливинилхлорида, металла и дерева
К-153	Склеивание металла, стекла, поливинилхлорида
ВК-3 и ВК-4	Склеивание стали, алюминия, титана, стеклотекстолита

— прессование склеиваемых деталей;

— нагрев для термической обработки клеевого соединения.

Общим недостатком клеевых соединений является низкая температурная стойкость.

Клей ВС-10Т представляет собой раствор синтетических смол в органических растворителях. Это однородная прозрачная жидкость темно-красного цвета без посторонних примесей. Клей ВС-10Т можно применять для склеивания стальных деталей, дюралюминиевых, пластмассовых и других материалов. Он обладает высокой теплостойкостью, масло- и бензостойкостью, защитной способностью против коррозии, экологически безвреден.

Детали из термореактивных пластмасс склеиваются смоляными клеями *ВИАМ Б-3, БФ-2, БФ-4, К-17* на основе фенолформальдегидных, эпоксидных и других смол. Склеивание деталей обеспечивается набуханием склеиваемых поверхностей и появлением клейкости.

Для склеивания органического стекла применяется дихлорэтан или клей, представляющий собой раствор опилок органического стекла в муравьиной кислоте или в *дихлорэтане*.

Широко применяемый при изготовлении и ремонте деревянных деталей клей бывает двух видов:

- казеиновый (белковый) для деталей, защищенных от влаги;
- синтетический (смоляной) для деталей, подвергающихся воздействию влаги, требующих повышенной прочности соединения и защиты их от разрушения грибком.

Казеиновый клей — представляет собой водный раствор казеинового порошка (продукта переработки молока).

Синтетические клеи состоят из смолы (чаще фенолформальдегидной, эпоксидной) или сложных виниловых эфиров (ПВА, ПВБ) и растворителя (ацетон, этиловый спирт и др.) и отвердителя.

Склеивание казеиновым и синтетическим клеем возможно при комнатной температуре.

Клей БФ-6 (смесь поливинилбутираля — ПВБ с фенольными смолами). ПВБ широко используется для приготовления пленок, лаков и защитных покрытий. ПВА — поливинилацетат представляет собой продукт полимеризации винилацетата. Обладает хорошими пленкообразующими свойствами, растворим во многих растворителях, поэтому основное применение ПВА — склеивание бумаги, ткани, кожи, стекла, керамики, дерева. Разработан ряд красок на основе водных дисперсий ПВА.

Приклеивание обивки к деревянным деталям производится нитроклеем АК-20 и к картону — клеем № 4010. Для приклеивания резиновых деталей к металлическим применяют клей № 88, 88Н, 66 или термопреновый. Приклеивание резиновых деталей к деревянным производят с помощью резинового клея ИК.

Каучуки и резиновые материалы

Благодаря высокой эластичности и упругости, способности поглощать вибрации и ударные нагрузки, хорошей механической прочности и сопротивлению истиранию, электроизоляционным и другим свойствам резина является незаменимым материалом для ряда автомобильных деталей.

Резину используют для изготовления опор двигателя; шлангов систем охлаждения, питания, смазки, отопления и вентиляции, ремней привода вентилятора, генератора, компрессора и водяного насоса; уплотнителей кузова и кабины; втулок рессор и других деталей подвески; манжет, шлангов, чехлов, диафрагм тормозной системы; деталей амортизаторов, шумоизолирующих элементов передней и задней подвесок; колесных грязевых щитков, ковриков для пола кабины и кузова и др.

И все же главное применение резины на автомобиле — это пневматические шины.

Автомобильные шины изготовляют из резины, ткани и небольшого количества стальной проволоки. В некоторых конструкциях шин применяется, кроме того, стальной корд.

Другие резиновые автомобильные детали изготовляют либо только из резины, либо с применением тканей. При ремонте автомобильных шин используют резину и резинотканевые материалы или же изделия из них.

Резину получают вулканизацией резиновой смеси. Любая резиновая смесь содержит каучук и *вулканизирующее вещество* — серу (в шинных резиновых смесях серы содержится до 3 % веса каучука).

Процесс вулканизации заключается в нагреве резиновой смеси до определенной температуры и выдержке ее при этой температуре в течение времени, достаточного для того, чтобы атомы серы соединили в некоторых местах молекулы каучука (имеющего линейную структуру), образуя резину — материал с пространственной структурой молекул, обладающий новыми свойствами, отличающимися от свойств каучука. Температура вулканизации должна быть выше температуры плавления серы (120°С), но ниже температуры плавления каучука (180—200°С).

Каучук подразделяют на:

— натуральный (НК);

— синтетический (СК).

Натуральный каучук добывают из млечного сока (латекса) каучуконосного дерева гевеи, а также каучуконосных растений (кок-сагыз, тау-сагыз), содержащих латекс в корнях.

Молекула натурального каучука состоит из звеньев легколетучего углеводорода — изопрена и имеет всюду одинаковую (регулярную) микроструктуру.

В России натуральный каучук имеет ограниченное распространение. Наша страна является родиной синтетического каучука, который был получен в 1931 году по методу, разработанному академиком С. В. Лебедевым.

Синтетический каучук получают в основном из природного и попутного нефтяных газов, а также отдельных углеводородных фракций нефтепереработки.

В настоящее время изготовляется несколько разновидностей синтетических каучуков, отличающихся механической прочностью, химической стойкостью, газопроницаемостью, термостойкостью и другими свойствами:

- *натрий-бутадиеновый (СКБ)*, первый в мире промышленный синтетический каучук, изготовлялся из этилового спирта на базе пищевых крахмалосодержащих продуктов. Выпуск прекращен с 1964 г.;
- *бутадиен-стирольный (СКС)* является самым распространенным синтетическим каучуком, который получается сополимеризацией бутадиена и стирола. Обладает достаточной прочностью и износостойкостью;
- *бутилкаучук* получают сополимеризацией изопрена и изобутилена, характеризуется высокой газопроницаемостью и химической стойкостью;
- *полиуретановые* каучуки отличаются высокой износостойкостью;
- *полисопропреновые* каучуки обладают высокой бензомаслостойкостью;
- *силиконовый* (кремнийорганический) каучук (СКТ) сохраняет свои свойства при температурах от −70°С до +400°С, превосходя по термостойкости натуральный каучук;
- *изопреновые* (СКИ) и *дивинильные* (СКД) каучуки обладают эластичностью, которая приблизилась к показателям натурального каучука, а по некоторым другим свойствам и превосходят натуральный.

Кроме каучука и вулканизирующего вещества в состав резиновой смеси входят и другие компоненты (ингредиенты), придающие резинам определенные свойства:

— *ускорители вулканизации* (альтакс, каптакс, тиурам в количестве 1—2 % от веса каучука) сокращают время вулканизации и повышают качество резины;

— *усилители* (активные наполнители) — сажа, каолин, цинковые белила и др. в количестве до 50 % от веса каучука. Служат для улучшения того или иного свойства резины;

— *неактивные наполнители* (отмученный мел, асбестовая мука) в количестве 30—40 % от веса каучука вводятся для удешевления резины без заметного ухудшения ее свойств;

— *противостарители* (сантофлекс А, неозон Д) в количестве 0,5—2,5 % от веса каучука вводятся для замедления старения резины под действием кислорода воздуха, солнечных лучей и других факторов;

— *мягчители* и *пластификаторы* (стеариновая кислота, мазут, вазелиновое масло, сосновая смола и др.) в количестве от 3 до 20 % веса каучука улучшают смешиваемость компонентов резиновой смеси и делают ее более пластичной и липкой;

— *красители* используются для окрашивания светлых резиновых смесей в соответствующие цвета. Применяются пигменты минерального и органического происхождения;

— *регенерат* — резина из утильных покрышек, камер для замены каучуковой составляющей резиновой смеси.

Свойства резин. Определяющее влияние на свойства резин оказывает каучуковая основа, от которой зависят их физико-механические, прочностные, защитные и другие свойства.

На механические свойства резин определяющее влияние оказывает температура, с повышением которой снижаются их прочность и твердость. При этом скорость снижения значений механических свойств выше у резин на основе ненасыщенных каучуков, а для кремнийорганических каучуков эта скорость минимальна.

Важнейшими характеристиками многих типов резин являются их износостойкость и коэффициент трения. Для резин, как и для других твердых материалов, различают *виды изнашивания:*

— усталостный;
— абразивный;
— коррозионно-механический;
— эрозионный;
— «скатывание» — является специфическим видом изнашивания для резин, когда при трении микронеровности поверхности резины деформируются в скатку и отрываются от поверхности.

Кроме вышеперечисленных свойств качество резин оценивается по:

— морозостойкости;
— термостойкости или сопротивлению термическому старению;
— озоностойкости;
— биостойкости;
— стойкости в жидких средах;
— диэлектрическим свойствам;
— пожароопасности и коррозионной агрессивности по методикам, общим для полимерных материалов.

Сравнительные характеристики резин разных типов, получаемых вулканизацией различных каучуков, приведены в табл. 2.

Классификация резин. Резины поставляются потребителю в виде:

— полуфабрикатов — резиновых смесей, готовых для переработки в изделия путем формования, армирования и вулканизации;
— вулканизированных пластин, шнуров;
— готовых изделий — лент, ремней, рукавов и шин.

Готовые резины (вулканизаторы) делятся на две основные группы — общего и специального назначения.

Резины общего назначения изготовляют на основе натурального каучука, бутадиеновых, изопреновых, бутадиен-стирольных, хлоропреновых, бутилкаучуков и их комбинаций. Эти резины

Таблица 2

Свойства резин

Показатель	Каучук — основа											
	натуральный	бутадиен-стирольный	изопреновый	бутадиеновый стереорегулярный	бутил-каучук	этилен-пропиленовый	эпихлоргидриновый	бутадиен-нитрильный	уретановый	полисульфидный	фторсодержащий	кремнийорганический
Прочность при растяжении резин:												
наполненных	Х	Х	Х	У	У	У	Х	У	О	П	У	П
ненаполненных	Х	П	Х	П	У	П	Х	П	П	П	У	П
Сопротивление раздиру	О	П	Х	У	Х	У	Х	П	О	П	У	П
Износостойкость	Х	Х	Х	О	У	Х	Х	Х	О	П	У	У
Эластичность	О	У	О	О	П	Х	У	У	У	П	П	П
Температура эксплуатации, °С:												
отрицательная	-60	-40	-60	-80	-30	-55	-35	-40	-15	-45	-45	-150
положительная	150	150	150	150	190	200	180	170	100	180	300	250
Атмосферостойкость	У	У	У	У	О	О	О	У	Х	Х	Х	О
Стойкость к старению	У	У	У	У	О	О	Х	У	Х	Х	О	Х
Маслостойкость	П	П	П	П	П	У	Х	О	П	О	Х	У
Стойкость к растворителям:												
алифатическим	П	П	П	П	П	П	Х	Х	Х	О	Х	Х
ароматическим	П	П	П	П	П	П	У	У	П	О	–	Х
хлорированным	П	П	П	П	П	П	П	П	П	О	–	П

Обозначения: О — отличные свойства, Х — хорошие, У — удовлетворительные, П — плохие.

работоспособны в интервале температур от 50 до 150°С, и основными областями их применения являются изготовление:

- пневматических шин и камер;
- конвейерных лент;
- приводных ремней;
- других резинотехнических изделий.

Резины специального назначения включают несколько их видов, применяемых в специфических условиях эксплуатации:

- *теплостойкие резины* на основе этилен-пропиленовых и бутилкаучуков работоспособны при температуре 150—200°С и более, для резин на основе элементоорганических каучуков;
- *морозостойкие резины* получают на основе каучуков с низкой температурой стеклования (кремнийорганические) или обычной температуры стеклования при введении в них специальных пластификаторов;
- *масло- и бензостойкие резины* на основе бутадиен-нитрильных, полисульфидных, уретановых, хлоропреновых, винилпиридиновых и фторсодержащих каучуков работоспособны при длительном контакте с нефтепродуктами и растительными маслами;
- *резины, стойкие к действию агрессивных сред* (кислот, щелочей, озона и т. д.), получают на основе бутилкаучука, кремнийорганических, фторсодержащих и акриловых каучуков, а также хлорсульфированного полиэтилена;
- *электропроводящие и магнитные резины* изготовляют на основе полярных каучуков с электропроводящими и магнитными наполнителями;
- *диэлектрические (кабельные) резины* получают на основе кремнийорганических, изопреновых и других каучуков с неорганическими наполнителями;
- *радиационностойкие резины* из фторсодержащих и бутадиен-стирольных каучуков наполняют оксидами свинца и бария.

Кроме вышеуказанных видов резин специального назначения выделяют также вакуумные, вибро-, водо-, огне- и светостойкие, оптически активные, фрикционные, пищевые и др.

Готовые резинотехнические изделия представляют собой, как правило, композиционные детали из резины и армирующего каркаса. Наиболее распространенными из них являются:

— амортизаторы, подшипники и шины, армированные металлическим кордом или проволокой;
— рукава, трубки и шланги (неармированные, с текстильным и металлическим каркасом);
— уплотняющие манжеты и другие изделия.

Контрольные вопросы

1. *В чем заключается процесс вулканизации?*
2. *Какие существуют виды изнашивания резин?*

Лакокрасочные материалы

К лакокрасочным материалам относятся жидкие составы на различной основе, способные при нанесении на твердую поверхность высыхать с образованием пленок — покрытий. Назначение таких лакокрасочных покрытий — защита поверхности изделий из металла, дерева, пластмасс и других материалов от разрушения, придание им изоляционных и декоративных свойств.

По составу лакокрасочные материалы делят на:

— *лаки*, растворы пленкообразующего вещества (смол) в органических растворителях с добавлением в ряде случаев технологических компонентов;
— *эмали*, суспензии пигментов или их смеси с наполнителями в лаках;
— *масляные краски*, на основе растительных масел, загущенных пигментами;
— *вспомогательные* — грунтовки, шпатлевки,

по назначению:

— атмосферостойкие;
— водостойкие;
— специальные;

— маслобензостойкие;
— химически стойкие;
— термостойкие;
— электроизоляционные.

Главными компонентами лакокрасочных материалов являются:

— *пленкообразующие вещества*, высокомолекулярные соединения различной природы: растительные масла, природные смолы, синтетические смолы, эфиры целлюлозы;
— *растворители:* ацетон, бензин, скипидар, толуол, уайт-спирит — выполняют роль активного компонента, действующего на пленкообразующее вещество;
— *разбавители:* бензол, смесь этилцеллюлозы и этанола — используют для придания требуемой вязкости (малярной консистенции) готовой композиции лакокрасочных материалов;
— *пластификаторы* (мягчители): касторовое масло, дибутилфталат, трикрезилфосфат и др. — предназначены для повышения эластичности лакокрасочных составов;
— *сиккативы:* соли свинца, марганца, кобальта, цинка и кальция, образованные жирными, смоляными и нафтеновыми кислотами, — применяют для ускорения высыхания пленкообразующих материалов;
— *отвердители* — благодаря каталитическому действию сиккативов на полимеризацию линейных синтетических смол (например, эпоксидных) они затвердевают в несколько раз быстрее;
— *антистарители* (антиоксиданты) добавляют в лакокрасочные материалы для уменьшения влияния кислорода воздуха на покрытия;
— *красители* — органические соединения, растворяющиеся в пленкообразователях (связующих), придающие определенный цвет покрытию;
— *пигменты* — порошкообразные вещества (сухие краски), придающие лакокрасочным материалам необходимый цвет и укрывистость (непрозрачность). Они не растворяются в пленкообразователях и растворителях, а находятся

в них во взвешенном состоянии, представляют собой соли и окислы металлов, сажу, глины, алюминиевую пудру;

— *наполнители* — мел, гипс, тальк, барит, гидрат окиси алюминия, сернокислый барий — способствуют повышению кроющей способности (укрывистости) лакокрасочных составов и механических свойств получаемого покрытия. Примешиваются к насыщенным красителям с целью частичной их замены;

— *добавки* — поверхностно-активные вещества (соли жирных кислот, триэтаноламин) входят в состав лакокрасочных материалов с целью повышения адгезии их к укрываемым поверхностям.

Сочетая вышеперечисленные компоненты, получают лакокрасочный материал с требуемым набором свойств

Лакокрасочные материалы в соответствии с ГОСТ 9825-73 обозначаются пятью группами знаков (рис. 35).

Например: «эмаль МЛ-1238 голубая» — обозначает, что у данной эмали пленкообразующая смола меламинная (МЛ), эмаль атмосферостойкая (1), ее порядковый номер второй (2), цвет голубой (38);

«Лак ГФ-95» — обозначает, что данный лак глифталевый (ГФ), электроизоляционный (9) и имеет пятый порядковый номер (5).

Лакокрасочные покрытия классифицируются по:

— материалу покрытия (см. рис. 36);

— внешнему виду поверхности покрытия (класс покрытия);

— условиям эксплуатации (группа покрытия).

По *внешнему виду поверхности* лакокрасочные покрытия подразделяются на 4 класса.

Лакокрасочная поверхность 1 класса самого высокого качества, она должна быть: ровной, гладкой, однотонной, не допускаются дефекты, видимые без применения увеличительных приборов.

При лакокрасочном покрытии 4 класса допускаются неровности, связанные с состоянием окрашиваемой поверхности, и другие дефекты, видимые без применения увеличительных приборов, но не влияющие на защитные свойства покрытий.

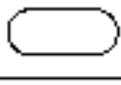
Вид лакокрасочного материала	Основа пленкообразующего вещества	Преимущественное назначение	Порядковый номер	Цвет эмали
I	II	III	IV	V
				
грунтовка; шпатлевка; эмаль; лак	ГФ – глифтали; ПФ – пентафтали; ФЛ – фенольные; МЛ – меламинные; ЭП – эпоксидные; ВЛ – поливинилацетальные, АС – сополимеры полиакриловых смол; НЦ – нитроцеллюлоза; МА – масла растительные	0 – грунтовки и лаки полуфабрикатные; 00 – шпатлевки; 1 – атмосферостойкий; 2 – стойкий внутри помещения; 5 – специальный, 7 – стойкий к различным средам; 8 – термостойкий; 9 – электроизоляционный	Обозначается одной, двумя или тремя цифрами	Белая, голубая и т. д.

Рис. 35. Условные обозначения лакокрасочных материалов

По *степени блеска* лакокрасочные покрытия подразделяются на:

— глянцевые;
— полуглянцевые;
— матовые.

Степень блеска определяется материалом покрытия.

По условиям эксплуатации лакокрасочные покрытия делятся на:

П — стойкие внутри помещений;

А — атмосферостойкие;

Х, ХС, ХК, ХСЩ — химически стойкие;

В, ВМ — водостойкие;

Т° — термостойкие (от 60 до 500°С);

М — маслостойкие;

Б — бензиностойкие;

Э — электроизоляционные.

Например: «ЭМ НЦ — 25, синий, 1П» означает, что лакокрасочное покрытие нанесено эмалью (ЭМ), на нитроцеллюлозной основе (НЦ), стойкой внутри помещения (2), цвет синий (порядковый номер 5), покрытие выполнено по первому классу (1) и стойкое внутри помещений (П).

Самые высокие требования к лакокрасочным покрытиям предъявляются при окраске кузовов легковых автомобилей и автобусов. Эти покрытия состоят из грунтовки, местной и общей шпатлевки и нескольких (2—5) слоев краски (рис. 36).

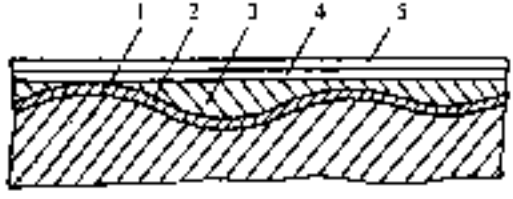


Рис. 36. Схема лакокрасочного покрытия:
1 — окрашиваемая поверхность; 2 — грунт; 3 — шпатлевка; 4 — лакокрасочная пленка (один или несколько слоев); 5 — пленка лака

Общая толщина лакокрасочного покрытия обычно не превышает 0,1 мм.

Грунтовка наносится сплошным ровным тонким слоем (0,018 -0,020 мм) непосредственно на тщательно очищенную окрашиваемую поверхность.

Качество и долговечность лакокрасочного покрытия возрастают, если перед грунтовкой поверхность подвергается специ-

альной химической обработке растворами солей фосфорной кислоты (фосфатирование), которая защищает металл от коррозии, проникновения влаги и улучшает сцепление слоя лакокрасочного покрытия с металлом.

Грунтовки состоят из пленкообразователей, растворителей, разбавителей, пигментов, наполнителей, сиккативов и стабилизаторов (поверхностно-активных веществ). Пленкообразователи у грунтовок бывают смоляные, нитроцеллюлозные и масляные. Фосфатирующие грунтовки выгодно отличаются тем, что образуют на поверхности не только слой грунтовки, но и пленку фосфорнокислых соединений.

Шпатлевка представляет собой пасту, состоящую из пленкообразователей, растворителей, наполнителей, пигментов и иногда также пластификаторов (для эпоксидных шпатлевок).

Слой шпатлевки не улучшает качества лакокрасочного покрытия, и более того, при значительной его толщине происходит снижение прочности лакокрасочного покрытия. Поэтому поверхность перед покраской должна быть хорошо выровнена и может иметь незначительные углубления. Глубокие вмятины до покрасочных работ заполняются термопластиками или эпоксидными пастами.

После шпатлевки производится шлифовка поверхности.

Шпатлевки классифицируются по типу пленкообразователей на:

— нитроцеллюлозные;
— пентафталевые;
— алкидно-стирольные;
— эпоксидные и др.

Хорошо зарекомендовали себя эпоксидные грунт-шпатлевки, когда имеются глубокие повреждения лакокрасочного покрытия с нарушением формы металла или значительные неровности поверхности. Эти шпатлевки получают на базе эпоксидной смолы с добавкой пигментов, наполнителей и пластификаторов (дибутилфталат). Для придания шпатлевке необходимой вязкости добавляется разбавитель или растворитель, и она может наноситься краскораспылителем.

Эти шпатлевки имеют хорошие адгезийные свойства, незначительную усадку, высыхают без образования трещин и пузырей. Их можно наносить на металл без предварительной грунтовки и не дожидаясь высыхания предыдущего слоя.

Различают следующие **виды красок**:

— эмалевые;

— масляные;

— порошковые

В эмалевых красках (эмалях) пленкообразователем служат различные лаки и частично олифа, а в масляных — только олифа. *Порошковые краски* — это твердые порошкообразные композиции на основе эпоксидных, полиэфирных и иных смол. Порошковые краски наносят, в основном, электростатическим напылением и применяют для антикоррозионной защиты и получения защитно-декоративных покрытий на металлических изделиях.

Краска является наиболее ответственным элементом в лакокрасочном покрытии. Она наносится несколькими ровными тонкими слоями. Необходимая вязкость краски обеспечивается добавлением к ней только соответствующего растворителя. Краски с разными основами не должны смешиваться.

Материалы для ухода за лакокрасочными покрытиями. Уход за лакокрасочным покрытием предусматривает, прежде всего, предупреждение его механического повреждения. Образующиеся трещины или царапины способствуют проникновению в покрытие влаги и как следствие коррозионному его разрушению или разрушению покрытия частицами льда при низких температурах.

Нефтепродукты разрушающе действуют на лакокрасочные покрытия. Особенно чувствительны к их действию покрытия с масляно-смоляными пленкообразователями (глифталевые, пентафталевые эмали и др.). Более стойки к нефтепродуктам синтетические эмали и нитроэмали, но и их следует оберегать. Любое загрязнение лакокрасочных покрытий вызывает их преждевременное разрушение.

Полировкой снимается тонкий слой покрытия и устраняются мельчайшие, невидимые глазом трещины, обнаруживаемые по потускнению покрытия.

Применяются следующие полировочные составы:

— *полировочная вода* (инфузорная земля — 8,2 %; масло вазелиновое — 17,8; масло касторовое — 5,8 %; вода — 68,2 % — для удаления незначительных загрязнений;

— *восковые полирующие пасты*, состоящие из парафина, воска, уайт-спирита, керосина или скипидара, — для частичного восстановления блеска, когда покрытие находится в хорошем состоянии;
— *жидкий восковой полирующий состав* (окись алюминия (Белая сажа) и водосодержащая эмульсия) — при частичной потере блеска покрытием;
— *полировочные пасты* (окись алюминия, вазелиновое и касторовое масла и вода), — когда перечисленные выше составы не позволяют восстановить блеск окрашенной поверхности.

Чтобы сохранить лакокрасочное покрытие при консервации при хранении, применяют специальные защитные пасты, состоящие из раствора бутилметакрилата в уайт-спирите и железноокисного пигмента. Пасты доводятся до необходимой вязкости состава с помощью уайт-спирита или смеси его с бензином в соотношении 1:1 и наносятся на окрашенные поверхности и хромированные детали распылением.

Образующаяся после высыхания пленка хорошо защищает покрытие от атмосферных повреждений. Удаляется пленка протиркой мягкой тканью, смоченной в бензине. После легкого полирования чистой фланелью покрытие приобретает первоначальный внешний вид независимо от срока консервации.

Для защиты хромированных деталей можно применять консервирующий состав, содержащий 20 % строительного битума и 80 % авиационного бензина. Состав наносится и удаляется тампоном, но уже смоченном бензином или керосином.

Контрольные вопросы

1. *Каким образом классифицируются лакокрасочные материалы?*
2. *Назовите основные компоненты лакокрасочных материалов.*
3. *Как классифицируются лакокрасочные покрытия?*
4. *Какие существуют способы нанесения лакокрасочного покрытия?*

Материалы для нанесения покрытий

В машиностроении зачастую требуется обеспечение заданных характеристик материалов не во всем объеме изделия, а лишь в его поверхностном слое с сохранением в сердцевине изделия свойств исходного материала. Это относится к таким важным в эксплуатации изделий характеристикам материалов, как прочность, износостойкость, стойкость к электрохимической коррозии и окислению.

Кроме методов поверхностной термической и химико-термической обработки, изменения свойств поверхности изделий можно добиться нанесением на основной материал покрытий — относительно тонких слоев другого материала с требуемыми свойствами. Наиболее широкое распространение получили коррозионно-стойкие, жаростойкие, износостойкие и антифрикционные покрытия.

Номенклатура материалов покрытий очень широка. Это металлы и сплавы, полимеры, оксиды и другие химические соединения. Металлические покрытия, наносимые в основном методами химического и электрохимического осаждения, играют важную роль в повышении коррозионной стойкости и износостойкости металлических изделий. Полимерные покрытия обеспечивают оптимальное сочетание защитных свойств с электроизоляционными и декоративными целями. Для изделий, работающих при высоких температурах и в агрессивных средах, применяют покрытия из оксидов, нитридов и других неорганических соединений.

Технология нанесения композиционных покрытий кроме традиционных способов включает такие высокоэффективные методы, как газопламенное и плазменное напыление, взрывом, электроконтактное припекание и др.

Покрытия из металлов и сплавов используют главным образом для повышения коррозионной стойкости и износостойкости металлических изделий. С этой целью наиболее часто применяют покрытия из алюминия, кадмия, никеля, олова, свинца, хрома, цинка и их сплавов. Для повышения надежности рабо-

ты электрических контактов их покрывают благородными металлами и сплавами последних.

Для нанесения противокоррозионных покрытий используют:

— гальваническое осаждение;

— металлизацию распылением;

— погружение в расплавы и др.

В машиностроении наибольшее распространение получили покрытия:

— цинком (цинкование);

— никелем (никелирование);

— кадмием (кадмирование);

— хромом (хромирование).

Кроме указанных видов защитных покрытий используют покрытия из алюминия и олова, золота, серебра и палладия, а также сплавов алюминия с цинком, меди с оловом, олова со свинцом, палладия с никелем и др. Требования к выбору покрытий для некоторых металлов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Выбор металлических покрытий

Основной металл	Вид покрытия	Условия эксплуатации			
		легкие	средние	жесткие	очень жесткие
Сталь	Цинковое электролитическое	+	+	—	—
	Кадмиевое электролитическое	+	+	—	—
	Никелевое электролитическое	+	+	+	+
Медь и медные сплавы	Никелевое электролитическое	+	+	+	+
	Покрытие сплавом олово–свинец, нанесенное из расплава	—	+	+	+

Примечание: «+» — покрытие работоспособно, «—» — неработоспособно.

Цинкование применяют для защиты от коррозии стальных и чугунных деталей при воздействии на них воды и влажного воздуха. Покрытие наиболее работоспособно до температуры плюс 70°С.

Никелирование используют для получения защитно-декоративных и износостойких покрытий на поверхностях деталей машин, работающих в атмосфере при температурах до 60°С. При обработке стальных деталей никелирование производят на подслой меди, чтобы устранить влияние пористости покрытия.

Кадмирование применяют для защиты от атмосферной коррозии изделий из сталей, чугунов и медных сплавов.

Хромирование деталей осуществляют для их защиты от коррозии в атмосфере газов, во влажной среде, щелочах и кислотах. Более толстые покрытия (5—100 мкм) применяют для повышения износостойкости деталей, работающих в жестких условиях (компрессионные поршневые кольца).

Для повышения износостойкости и восстановления изношенных поверхностей стальных деталей широко используют методы: *газовой*, *электродуговой* и *электрошлаковой наплавки* покрытий с помощью электродов из сплавов железа с никелем, хромом и марганцем.

Путем плазменного напыления на изделия из металлов, керамики, стекла, пластмасс наносят алюминий, вольфрам, молибден, ниобий, свинец, цинк (табл. 4).

В последнее время все большее применение находит *ионная имплантация*: ионы азота, бора и других элементов, движущиеся с высокими скоростями, внедряются в поверхностный слой обрабатываемой детали. Это способствует улучшению комплекса эксплуатационных свойств металлических изделий.

Покрытия из неорганических материалов наносятся на поверхности металлических изделий с целью защиты их от коррозии, снижения коэффициента трения, повышения жаро- и износостойкости.

К основным материалам для таких покрытий относятся оксиды, карбиды, нитриды и фосфаты металлов, эмали и твердые смазки.

Таблица 4

Характеристика покрытий, наносимых плазменным напылением

Материал покрытия	Назначение покрытия
Стали У12, У10, У8; Стали 60, 50	Наращивание изношенных поверхностей деталей, работающих в контакте с антифрикционными сплавами
Стали 40, 30, 10	Наращивание изношенных посадочных поверхностей
Цинк, кадмий	Защита от атмосферно-водной коррозии
Свинец, алюминий	Защита от коррозии в агрессивных средах
Свинец-алюминий, свинец-медь, медь-сталь, олово	Получение антифрикционных напыленных слоев
Цинк, малоуглеродистая сталь	Заделка трещин в чугунном, стальном и цветном литье

Методы формирования покрытий:

— термическая и химическая обработка;

— наплавка из порошков;

— химическое осаждение из газовой фазы;

— катодное распыление в вакууме.

Защитные оксидные покрытия образуются на поверхности изделия в результате окисления их поверхностного слоя под химическим воздействием. Широко распространенными методами обработки сталей являются:

— термическое оксидирование (воронение);

— химическое оксидирование в кипящем едком натре;

— фосфатирование (образование фосфатной пленки).

На поверхности алюминия защитную оксидную пленку получают химическим и электрохимическим (анодирование) способом.

Высокопрочные и износостойкие покрытия из оксида алюминия наносят на изделия из металлов, твердых сплавов и керамики методами плазменного напыления.

Карбидные, нитридные и карбонитридные покрытия наносят на изделия из стали и твердых сплавов для повышения их износо-

стойкости и коррозионной стойкости методами плазменного напыления и химического осаждения из газовой фазы. В качестве материалов для покрытий употребляют карбид, нитрид и карбонитрид титана, а также карбиды хрома и молибдена. Износостойкость сталей, на которые нанесено покрытие, например из нитрида титана, в несколько раз превышает износостойкость высокопрочных легированных сталей и даже сталей, наплавленных твердым сплавом.

Силикатные покрытия (эмали) сочетают прочностные свойства металлов с коррозионной, термической и абразивной стойкостью силикатов. Их в виде порошков наносят на изделия из стали и чугунов и затем подвергают отжигу при температуре 1000°С. Для изделий из алюминиевых сплавов применяют покрытия из легкоплавких эмалей с высоким содержанием свинца и температурой плавления около 500°С.

Неорганические твердосмазочные покрытия используют для снижения коэффициента трения в узлах машин, которые невозможно смазывать. Материалами для таких покрытий являются графит, дисульфид молибдена и вольфрама, галогенные соединения металлов как в чистом виде, так и в виде композиций с полимерными, металлическими и силикатными связующими.

Однокомпонентные твердые смазки наносят на поверхности натиранием с помощью щеток. При использовании силикатного связующего (жидкого стекла) композицию наносят на поверхность, а затем нагревают для удаления воды и отверждения. Если употребляют связующее из термореактивных органических или силиконовых полимеров, смесь твердой смазки и связующего в виде порошков напыляют на поверхность, а затем нагревают. Дисульфид молибдена эффективно наносится плазменным напылением.

Покрытия из полимеров и резины. В последние годы самостоятельное значение приобрели покрытия, получаемые из твердых порошкообразных полимеров. Их широко используют не только как защитные и декоративные, но и как износостойкие и антифрикционные покрытия, а также как облицовку изделий и компоненты композиционных покрытий многоцелевого назначения.

Первоначально для нанесения покрытий использовались в основном термопласты — полиамиды, полиолефины, поливинилхлорид и другие, затем более значительное применение (до 70 % от общего объема) получили реактопласты — полиэпоксиды, полиакрилаты, полиэфиры и т. д.

В большинстве случаев полимеры при нанесении покрытий совмещают с различными ингредиентами — пластификаторами, стабилизаторами, отвердителями, наполнителями, пигментами, которые придают покрытиям необходимые технологические и эксплуатационные свойства.

Методы нанесения покрытий различаются по:

- способам нанесения порошкового материала (в псевдоожиженном слое, пневмораспылением, электростатическим напылением и др.);
- способам его оплавления (пламенный, индукционный и др.);
- виду применяемой аппаратуры (камерный, бескамерный и др.).

Порошок можно напылять на предварительно нагретое изделие или расплавлять перед напылением.

Полиолефиновые покрытия наносятся электростатическим напылением или в «кипящем слое» из порошков полиэтилена (ПЭНД и ПЭВД), полипропилена, смесей полиэтиленов с каучуками и др. Эти покрытия предназначены преимущественно для защиты от коррозии металлических изделий.

Покрытия из поливинилбутираля наносятся в псевдоожиженном слое порошка и широко применяются как защитно-декоративные, бензо- и изностойкие при эксплуатации изделий внутри помещений (покрытия на электроизмерительных приборах, деталях салона автобусов и т. д.).

Поливинилхлоридные покрытия обладают высокой химической, бензо- и маслостойкостью. Их широко используют при защите трубопроводов, деталей насосов, пружин и т. д.

Полиамидные покрытия получают нанесением на защищаемую металлическую поверхность продуктов полимеризации капролактама в «кипящем слое», вибровихревым методом и электростатическим распылением. Они характеризуются высо-

кой твердостью, а по стойкости к абразивному изнашиванию превосходят другие полимерные покрытия. Основное применение полиамидные покрытия находят в узлах трения машин и механизмов (детали двигателей, роторы вентиляторов и т. д.).

Покрытия из фторопластов наносят из порошков политетрафторэтилена, политрифторэтилена методами газоплазменного напыления, в «кипящем слое» и электростатическим распылением. Фторопластовые покрытия обладают низким коэффициентом трения, хорошими электроизоляционными свойствами. Их широко используют в узлах трения машин и оборудования различного назначения.

Кроме перечисленных выше, из *термопластичных полимеров* для нанесения покрытия используют *пентапласт* (защитные и антифрикционные покрытия) и *эфиры целлюлозы* (декоративные покрытия металлических изделий).

Из *термореактивных полимеров* в качестве покрытий широко применяются следующие композиции.

Эпоксидные композиции наносят на металлические детали методом электростатического напыления. Их используют для защиты сталей и цветных сплавов в автотракторной технике и других отраслях.

Полиэфирные покрытия получают нанесением сложных эфиров многоатомных спиртов и многоосновных кислот электростатическим напылением. Они отличаются высокой коррозионной и износостойкостью.

Кроме этих термореактивных полимерных покрытий, применяют *полиакрилатные покрытия* (тепло- и водостойкие покрытия водонагревательных приборов, детали автомобилей), *полиуретановые* (защита деталей от абразивного изнашивания, коррозии), а также покрытия из *полиамидов* и *кремнийорганических полимеров*.

Покрытия из резиновых материалов используют для защиты стальных изделий от коррозии и абразивного изнашивания.

При нанесении резиновых покрытий (гуммировании) обеспечивается защита от коррозии жидкостных резервуаров, а от абразивного изнашивания — рабочие детали грунтовых насосов, дробеметов, сопел пескоструйных аппаратов и т. д.

Гуммирование производится несколькими методами. Самый распространенный заключается в оклейке защищаемого объекта листами сырой резиновой смеси с последующей вулканизацией паром, горячим воздухом или кипящей водой.

Контрольные вопросы

1. *Какие существуют методы нанесения противокоррозионных покрытий?*
2. *Какие методы используются для повышения износостойкости деталей?*
3. *Каким образом различаются методы нанесения покрытий?*

Графитоуглеродные материалы

Графит — кристаллическая модификация углерода. Графит обладает рядом уникальных свойств: кислотоупорен, не растворяется в органических растворителях, обладает низким коэффициентом трения и высокой электропроводностью, хорошо обрабатывается резанием. Сочетание свойств графита обусловило его применение в качестве конструкционного (плавильные тигли, электроды) и антифрикционного (твердые смазки, покрытия, подшипники, электрощетки) материала.

Искусственным путем графит получают в результате нагрева смеси кокса и пека до 2800°С, а также осаждением из газообразных углеводородов при 1400—1500°С под давлением около 50 МПа. Полученный так называемый *пирографит* обладает высокой прочностью и рядом других полезных качеств, обусловливающих его использование для изготовления ответственных деталей машин и механизмов (подшипников, деталей уплотнения и др.).

Из синтетических волокон и тканей специальной термической обработкой получают *углеродные волокна* и *ткани*, находящие широкое применение в качестве упрочняющих компонентов композиционных материалов.

Углеграфитовые антифрикционные материалы предназначены для работы без смазки в качестве подшипниковых опор, уплотнительных устройств и других трущихся деталей в интервале температур от −200°С до +2000°С и в агрессивных средах. К ним относятся графитопластовые антифрикционные материалы марок:

— АМС-1, АМС-3, АМС-5 на эпоксидно-кремнийорганическом связующем;
— АФГМ, АФГ-80ВС, 7В-2А на основе фторопласта-4;
— НИГРАН, НИГРАН-В — антифрикционные графитизированные материалы.

Углеграфитовые материалы с увеличенной механической прочностью при повышенных температурах (марок ЭЭГ, ГМЗ, СГМ, АГМ-1 и др.) применяются в металлургической и химической промышленности.

Абразивные материалы

Абразивными называются мелкозернистые или порошковые неметаллические вещества (химические соединения элементов), обладающие очень высокой твердостью и имеющие острые режущие грани. Их используют для получения шлифовальных кругов, гибких шлифовальных и полировальных лент, а также в виде полировальных паст.

Абразивные материалы разделяют на природные и искусственные.

К **природным абразивным материалам** относятся:

— *алмаз* — минерал, представляющий собой чистый углерод. Встречается в виде небольших кристаллов различной формы. Применяется для шлифования труднообрабатываемых сплавов и заточки твердосплавного инструмента;
— *корунд* — горная порода, состоящая до 95 % из кристаллической окиси алюминия. Зерна корунда очень твердые и имеют острые грани;

— *наждак* — мелкозернистый корунд-порошок, представляет собой смесь зерен корунда с другими минералами — магнитным железняком, гематитом, полевым шпатом;
— *кварц* — минерал, состоящий в основном из кристаллического кремнезема. Разновидностью кварца является кварцевый песок;
— *гранат* — соединение алюминия, железа, хрома, а также кальция, магния, марганца с кремнекислотой. Является хорошим абразивным материалом для обработки резины, кожи, для шлифования стеклянных изделий и мягких металлов, удаления старых лакокрасочных покрытий;
— *пемза* — излившаяся вулканическая порода, преимущественно состоящая из кремнезема и глинозема. Применяется для полирования мягких металлов, камней и древесины.

К искусственным абразивным материалам относятся:
— *электрокорунд нормальный* (марок 395, 393, 392), получаемый при выплавке боксита в смеси с восстановителем (антрацитом или коксом) в дуговых электрических печах, содержит до 95 % окиси алюминия;
— *электрокорунд белый* получается при плавке технического глинозема в электрических печах, содержит до 99 % корунда. Обладает высокой твердостью и острыми кромками зерна;
— *монокорунд* (марок М7 и М8) получают сплавлением боксита с сернистым железом и восстановителем (антрацит или кокс) в электрических печах, содержит не менее 96 % кристаллической окиси алюминия;
— *карбид кремния* (марок К38 и К39, К47 и К48) получают в результате взаимодействия кремнезема и углерода (содержащегося в антраците и коксе) в электропечах. Применяется для заточки твердосплавного инструмента;
— *карбид бора* получают при плавлении борной кислоты с малозольным углеродистым материалом — нефтяным или пековым коксом, сажей и др. Используется в порошках или пастах для доводки изделий из твердых материалов;

— *боросиликокарбид* представляет соединение бора, кремния и углерода; применяется для доводки деталей из твердых и труднообрабатываемых сплавов и из неметаллических материалов высокой твердости;
— *синтетический алмаз* — сверхтвердый материал, получающийся в специальных установках, способных развивать давление свыше 100 000 атмосфер при температуре более 2500°С.

Абразивные материалы характеризуются абразивной (режущей) способностью. *Абразивная способность* — это основной показатель качества абразива и определяется массой снимаемого при шлифовании материала до затупления зерен. По режущей способности абразивные материалы располагаются в следующем порядке: алмаз, карбид бора, карбид кремния, монокорунд, наждак, кремень.

Абразивные материалы подразделяют на группы:
— *шлифзерно* с зернистостью 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16 в сотых долях миллиметра;
— *шлифпорошки* с зернистостью 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3 в сотых долях миллиметра;
— *микропорошки* М63, М50, М40, М20, М14, зернистость указывается в микрометрах;
— *тонкие микропорошки* М10, М7, М5, зернистость указывается в микрометрах.

Абразивный инструмент. Процесс изготовления абразивных инструментов слагается из следующих операций:
— размола и измельчения абразивных материалов;
— сортировки по номерам и зернистости;
— смешивания со связкой и увлажнения;
— получения определенной формы и размеров изделий;
— сушки и тепловой обработки.

Абразивные инструменты, состоящие из зерен, цементированы связкой, которая не должна быть чрезмерно прочной, так как отработанные (затупившиеся) зерна не будут выпадать из связки и поверхность инструмента станет гладкой, или, как говорят, «засалится».

Для изготовления абразивных инструментов применяют две основные группы *связок:*

- неорганические — керамическая, магнезиальная, силикатная;
- органические - бакелитовая, глифталевая, вулканитовая.

Керамическая связка (К) состоит из глины, полевого шпата, кварца и др., в которые для повышения пластичности добавляют клеящие вещества (жидкое стекло, декстрин и т. д.). Основным ее недостатком является чувствительность к ударам и изгибающим нагрузкам.

Магнезиальная связка (М) — смесь каустического магнезита и раствора хлористого магния, твердеющая на воздухе (магнезиальный цемент). Недостатками являются гигроскопичность, повышенный износ и нестойкость профиля.

Силикатная связка (С) имеет основным связующим веществом жидкое стекло (силикат натрия), которое при смешивании с наполнителями (окись цинка, мел, глина и др.) обеспечивает получение соответствующего абразива. Из-за слабого удерживания зерна абразивный инструмент на этой связке используется ограниченно.

Бакелитовая связка (Б) — искусственная фенолформальдегидная смола, применяется в жидком состоянии (Б1) или порошкообразном (Б2). Имеет повышенную прочность и упругость, поэтому широко используется. Однако она малоустойчива к действию охлаждающих жидкостей (для предохранения инструмент пропитывается парафином).

Вулканитовая связка (В) состоит из искусственного каучука с вулканизирующими добавками. При использовании вулканитовой связки с высокими упругими свойствами и сопротивлением разрыву получают жесткие инструменты, а при малой упругости и большом относительном удлинении получают гибкие шлифовальные круги и эластичные инструменты.

Твердость – сопротивление связки вырыванию зерен с поверхности инструмента под действием внешних сил, а также способность материала связки подвергаться истиранию и выкрашиванию.

Твердость абразивного инструмента имеет буквенное и цифровое обозначение:

Условное обозначение	Степень твердости
М — мягкий	М1, М2, МК
СМ — среднемягкий	СМ1, СМ2
С — средний	С1, С2
СТ — среднетвердый	СТ1, СТ2, СТ3
Т — твердый	Т1, Т2
ВТ — весьма твердый	ВТ1, ВТ2
ЧТ — чрезвычайно твердый	ЧТ1, ЧТ2

Цифры в обозначении характеризуют твердость в порядке возрастания. Показателем твердости считают величину разрушения — глубину лунки или отпечатка.

Абразивный инструмент *маркируется* обозначениями, характеризующими:

— абразивный материал;
— связку;
— зернистость;
— твердость;
— форму и размеры инструмента;
— завод изготовитель.

Марка проставляется краской на абразивном инструменте. Например, маркировка на шлифовальном круге:

ПП 450×50×127 ЗАЗ Э 50 С1 Б

означает — ПП — круг плоский прямоугольного профиля; 450 — наружный диаметр круга; 50 — высота круга; 127 — диаметр отверстия круга (все размеры в миллиметрах); ЗАЗ — Златоустовский абразивный завод; Э — электрокорунд; 50 — зернистость; С1 — средняя твердость 1; Б — бакелитовая связка.

Форма поперечных сечений шлифовальных кругов и их размеры регламентированы стандартом, которым предусматривается 22 профиля и несколько сотен типоразмеров (рис. 37).

К абразивным материалам также относятся:

— шлифовальные шкурки;
— абразивные и алмазные пасты.

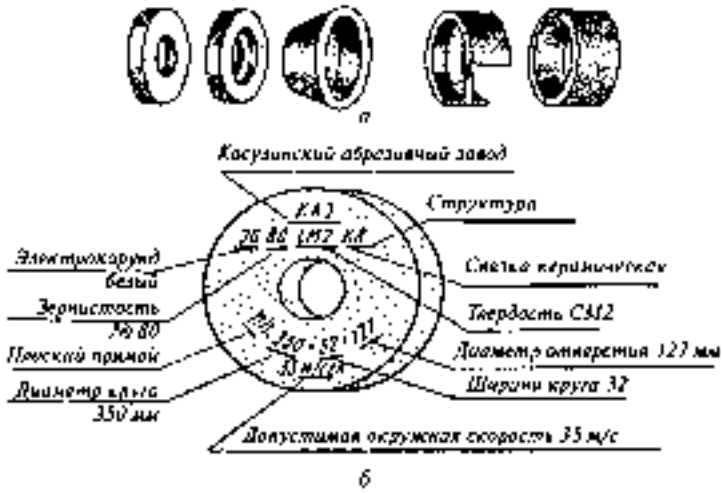


Рис. 37. Формы шлифовальных кругов (*а*), маркировка круга (*б*)

Шлифовальные шкурки используются для зачистки и отделки поверхностей изделий. Это бумага или ткань с наклеенными на нее зернами абразива.

Абразивные и алмазные пасты используются для доводки, притирки и полирования поверхностей изделий. Пасты состоят из жидких, полужидких или твердых смесей абразивных материалов с добавками химически активных веществ.

Все абразивно-доводочные пасты в зависимости от применяемого материала делят на две группы:

— *твердые* (алмаз, карбид бора, наждак);

— *мягкие* (окись хрома, окись железа, кварц).

Кроме абразивных материалов в состав паст для связки входят: химически активные олеиновая и стеариновая кислоты, парафин, скипидар, канифоль и другие вещества.

Из мягких абразивных материалов наиболее широко применяют пасты Государственного оптического института (ГОИ). Различают три сорта пасты ГОИ:

— *грубую* (цвет темно-зеленый, почти черный) — применяется для снятия слоя металла толщиной в несколько десятых долей миллиметра. Например, для удаления следов

обработки опиливанием, шлифованием. Детали после притирки этой пастой получают матовую поверхность;

- *среднюю* (цвет темно-зеленый) — снимает слой металла, измеряемый сотыми долями миллиметра, дает более чистую поверхность без штрихов;
- *тонкую* (светло-зеленого цвета) — служит для окончательной притирки, придает поверхности зеркальный блеск.

Алмазные пасты являются наиболее эффективными средствами для выполнения доводочных и притирочных работ. Пасты из синтетических и природных алмазов используют для окончательной доводки деталей и изделий.

Контрольные вопросы

1. *Что называется абразивными материалами?*
2. *Назовите типичные представители природных и искусственных абразивных материалов.*
3. *Какие характеристики входят в маркировку абразивного инструмента?*

Композиционные материалы

Композиционные материалы — это конструкционные материалы, получаемые путем объемного сочетания компонентов с различными свойствами и границей раздела между ними.

Компонент, непрерывный в объеме композиционного материала, называется *матрицей* (связующим) (рис. 38). Другие компоненты — *упрочнители* (арматура, наполнители) распределены в объеме матрицы.

Композиционные материалы классифицируют по основным признакам:

- типу матрицы;
- виду армирующего элемента;
- особенностям макростроения;
- методам получения.

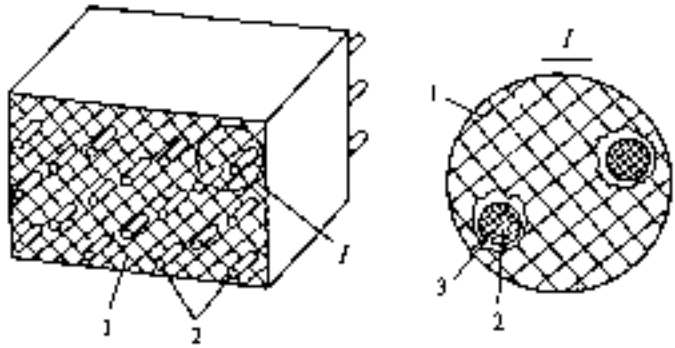


Рис. 38. Схема композиционного материала:
1 — матрица; 2 — армирующие элементы; 3 — зона раздела фаз

По типу матерала матрицы различают:

— полимерные композиты (термопласты, реактопласты и их смеси);

— металлические (в том числе материалы, получаемые методами порошковой металлургии);

- неорганические (неорганические полимеры, минералы, углерод, керамика);

— комбинированные (полиматричные).

Матрица придает изделию из композита заданную форму и монолитность, обеспечивая передачу и распределение нагрузки по объему материала, защищает армирующие элементы от внешних воздействий. Непосредственно определяет термическую и коррозионную стойкость, электрические и теплозащитные свойства, склонность к старению, технологию изготовления и другие характеристики композиционного материала и изделий из него.

По виду армирующих элементов (наполнителей) композиты классифицируют в зависимости от:

- геометрических размеров арматуры (наполнителей);

— порядка их расположения в матрице;

— целей армирования.

Армирующие элементы (наполнители) вводят в композиционный материал с целью изменения его свойств: увеличении

прочности, жесткости и пластичности; изменения плотности, электрических, теплофизических и других характеристик в различных направлениях по объему материала и отдельных местах изделия из него.

Целесообразно различать собственно наполнители и армирующие элементы. *Наполнители* — это преимущественно дисперсные и коротковолокнистые вещества, введение которых позволяет достичь не более чем двухкратного повышения прочности матрицы. *Армирующие элементы (арматура)* — это высокопрочные стержни, волокна и ткани, которые способствуют повышению прочности материала в 2—10 и более раз по сравнению с прочностью матрицы.

В композиционном материале могут находиться и наполнители, и армирующие элементы (рис. 39).

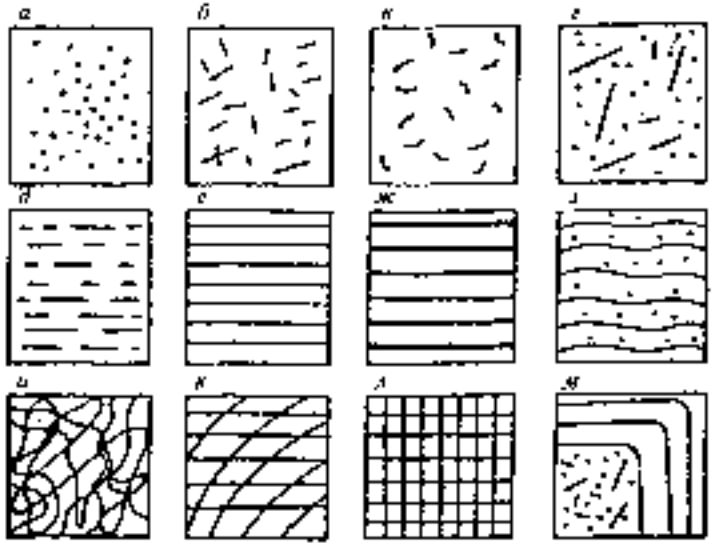


Рис. 39. Простейшие случаи расположения армирующих элементов и наполнителей в матрице композиционного материала.

а — порошка, *б* — коротких волокон; *в* — чешуек; *г* — смеси порошка с короткими волокнами; *д* — коротких волокон; *е* — длинных волокон; *ж* — тканей или фольги; *и* — длинных волокон

(*а—г, и*) — хаотическое расположение; (*д—з*) — одноосноориентированное расположение; (*к—м*) — сложноориентированное расположение арматуры и наполнителей в матрице композиционного материала

По макростроению композиционные материалы различают в соответствии с геометрическими параметрами относительного расположения компонентов друг к другу (см. рис. 39).

По методам получения композиты подразделяют на материалы, формируемые путем соединения компонентов:

- в твердой или жидкой фазах;
- с использованием газофазных процессов;
- в вязкотекучем состоянии;
- при помощи разнообразных комбинаций фазовых состояний компонентов.

Чаще всего при изготовлении композита применяют последовательные или параллельные технологические операции с компонентами, находящимися в различных фазовых состояниях.

Жидкофазными компонентами — растворами и расплавами матричного материала — пропитывают арматуру. *Твердофазные* компоненты соединяют в композиционный материал прессованием, уплотнением взрывом, диффузионной сваркой. К *газофазным технологическим процессам* относят нанесение металлических или керамических матричных покрытий на армирующие элементы — волокна, ткани. В *вязкотекучем состоянии* перерабатывают большинство композитов на полимерной матрице.

Направления использования композиционных материалов. Создание и применение композитов — один из наиболее перспективных путей обеспечения производства конструкционными материалами, решения задач повышения эксплуатационных параметров техники, экономии ресурсов.

Современные композиционные материалы сочетают высокие прочностные свойства с легкостью и долговечностью. Их использование в машинах и оборудовании позволяет снизить массу конструкции на 25…50 %, трудоемкость их изготовления — в 1,5—3 раза. За счет применения композитов можно в несколько раз увеличить эксплуатационный ресурс технического объек-

та, снизить до минимума потери от коррозии, расход топлива, и т. д.

Определились две области эффективного использования композиционных материалов:

— *в качестве заменителей дефицитных традиционных материалов* (цветных металлов, натуральных тканей и др.), когда используется недефицитное или вторичное сырье: древесные опилки, отходы синтетических волокон и тканей, сельскохозяйственного и химического производств. Из них изготовляют древесно-полимерные, волокнисто-армированные листовые материалы для отделки интерьера кабин и кузовов автомобилей, утеплительные и звукоизоляционные панели, разнообразные малонагруженные детали агрегатов и механизмов;

— *в качестве конструкционных материалов с уникальными эксплуатационными свойствами*. Они наиболее широко используются для изготовления ответственных изделий, в первую очередь в авиации, автомобилестроении и электронике. Доля композиционных материалов в автомобилях в ближайшие годы может достигнуть 65 %. Из композитов изготовляют не боящиеся коррозии рамы, рессоры, бамперы, узлы трения.

Композиционные материалы на полимерной матрице (КПМ) содержат полимерное связующее (матрицу), объединяющее все компоненты материала в единую структуру.

К композиционным материалам на полимерной матрице относятся:

— *пластмассы* — материалы, основу которых составляют полимеры, находящиеся во время формования в вязкотекучем или высокоэластическом состоянии;

— *пластики*, армированные волокнами, тканями и объемными элементами;

— *металлопласты*, состоящие из чередующихся слоев металла и полимерного материала;

— *микрокапсулы* — твердые оболочки, содержащие малые объемы жидких или газообразных веществ;

— *сотопласты* и другие.

В настоящее время номенклатура КПМ насчитывает сотни наименований, объединяющих материалы с уникальными удельной прочностью и коррозионной стойкостью, регулируемыми магнитными и электрическими характеристиками, разнообразными функциональными свойствами. Предельная температура использования КПМ соответствует 200–400°С, однако сочетание высокой прочности и стойкости к коррозии делает их перспективным материалом для автомобилестроения.

Наполненные пластики, в качестве наполнителей полимерной матрицы таких материалов применяют твердые, жидкие и газообразные вещества.

Конструкционные (общетехнические) пластики — КПМ с матрицей из термопластов, содержащей твердые наполнители преимущественно неметаллической природы. Они предназначены для изготовления слабо- и средненагруженных деталей машин: зубчатых колес, подшипников, уплотнителей, корпусов.

Металлонаполненные пластики — КПМ, содержащие в качестве наполнителя металлические порошки. Их применяют вместо цветных металлов для изготовления подшипников, уплотнителей, электрических контактов (взамен драгоценных металлов).

Графитопласты — КПМ, содержащие в качестве наполнителя природный и искусственный графит или карбонизированные продукты (кокс, термоантрацит и т. п.). Характерным представителем графитонаполненных полиамидов является АТМ-2 — антифрикционный самосмазывающийся материал на основе капрона.

Сажанаполненные каучуки применяют при производстве шинных протекторов, которые обладают высокими показателями износостойкости и выносливости при многократных деформациях.

Противокоррозионные пластики — КПМ, содержащие ингибиторы коррозии. Они выполняют в машинах основную функцию конструкционного материала и обладают дополнительными функциональными свойствами, предохраняя от коррозии сопряженные металлические детали. Чехление деталей в ингиби-

биторную полиэтиленовую пленку обеспечивает их защиту от коррозии в течение 3—7 лет.

Пенопласты, поропласты — КПМ, содержащие компоненты в газовой фазе. Их применяют с целью защиты машин, оборудования от нежелательного теплового воздействия окружающей среды (теплоизоляционные материалы), а также для поглощения шумов внутри помещения или (и) защиты его от проникновения звука извне (акустические и звукопоглощающие материалы).

Микросферы — твердые оболочки, содержащие малые объемы (10^{-6}—1 мм^3) веществ в газовой, жидкой или твердой фазе. Полые полимерные микросферы широко используются в автомобильной промышленности США для облегчения кузовов машин.

Армированные пластики — обширная группа конструкционных полимерных материалов, содержащих в качестве упрочняющего наполнителя волокнистые, тканевые, сетчатые и листовые материалы.

Волокнистые пластики — промышленность выпускает высокопрочные волокна широкой номенклатуры - угольные, борные, оксидные, полимерные и др. Характерными представителями волокнистых пластиков являются следующие материалы:

- *стеклопластики* - материалы на полимерной матрице, армированной стеклянным волокном. У них высокая прочность сочетается со сравнительно низкими плотностью и теплопроводностью, высокими электроизоляционными характеристиками. Их применяют в транспортном машиностроении для изготовления кузовов автомобилей, цистерн и др.;
- *асбопластики* — теплостойкие КПМ, матрица которых наполнена асбестовыми материалами. Они длительное время сохраняют механические свойства при температурах до 400°С. Из асбопластиков изготовляют лопатки ротационных насосов, тормозные колодки, элементы тепловой защиты двигателей;
- *волокниты* — пресс-материалы, состоящие из рубленого волокна, пропитанного термореактивной синтетической

смолой. Волокниты, содержащие хлопковое или химическое волокно, называются *органоволокнитами*, углеродное — *карбоволокнитами*, борное — *бороволокнитами* и т. д. Из волокнитов изготовляют детали с высоким сопротивлением ударным нагрузкам: корпуса и крышки агрегатов, шестерни, втулки и др.;

— *углеродопласты* (карбопласты, углепласты) — КПМ, содержащие в качестве упрочняющего наполнителя углеродные волокна. Это прочные, жесткие, термически и химически устойчивые материалы с высокими электро- и теплопроводностью, низким значением коэффициента трения. Их применяют для изготовления деталей автомобилей, чтобы предупредить влияние внешнего электромагнитного поля на работоспособность электронных устройств, а также для защиты радиоаппаратуры от излучения двигателя;

— *боропластики* (бороволокниты) — композиционные материалы на матрице из термопластичных и термореактивных полимеров, содержащие волокна бора в качестве упрочняющего наполнителя. Они отличаются очень высокой прочностью, жесткостью и термостойкостью. Из них изготовляют несущие детали (рули, обшивка крыльев, лопатки вентиляторов).

Слоистые армированные пластики включают в себя некоторые из перечисленных материалов с наполнителями в виде ткани (стеклопластики, асбопластики, углеродопласты), а также следующие материалы:

— *текстолиты* — материалы, состоящие из слоев ткани, пропитанной термореактивной синтетической смолой. Различают текстолиты на основе хлопчатобумажной ткани, стеклотекстолиты (стеклоткань), асботекстолиты (асбестовая ткань), органотекстолиты (ткань из синтетических волокон), карботекстолиты (угольная ткань). Из текстолитов изготовляют крупногабаритные изделия сложной формы (например, из стеклотекстолита — корпуса судов), вкладыши подшипников, электротехнические изделия. Асботекстолиты применяют как фрикционный материал;

— *гетинакс* — слоистый пластик на основе бумаги, пропитанной термореактивной синтетической смолой. Он отличается высокими механическими и электроизоляционными свойствами, поэтому его применяют в основном при изготовлении электротехнических изделий;
— *металлопласт* — конструкционный материал, состоящий из металлического листа, покрытого с одной или двух сторон слоем полимера, например, полиэтилена, фторопласта, поливинилхлорида. Их применяют для защиты от коррозии и декоративной отделки стен и крыш зданий, в производстве кузовов автомобилей, холодильников и т. д.;
— *древесно-слоистые пластики* — материалы, получаемые «горячим» прессованием тонких листов древесины — шпона, пропитанных синтетическими термореактивными смолами. Их применяют в качестве конструкционного и антифрикционного материала;
— *нетканые материалы* — текстильные материалы из натуральных и химических волокон, изготовленные без применения процессов ткачества, например, прошиванием волокнистого холста пряжей (вязально-прошивные материалы), прокалыванием холста иглами с зазубринами (иглопробивные), проклеиванием волокнистого холста связующим (клееные) и другими методами. Применяемые в автомобилях изделия из нетканых материалов: фильтры, утепляющие прокладки, обивочные материалы;
— *древесные плиты* — КПМ, формуемый из древесных стружек или волокон с небольшим содержанием синтетического связующего. Древесноволокнистые плиты вырабатывают путем отлива на сетке волокнистой древесной массы, получаемой при механическом истирании древесины массы, с добавлением 4—8 % синтетической смолы. ДВП — хороший акустический материал. Древесностружечные плиты изготовляют прессованием древесной стружки и связующего. Для повышения стойкости против влаги, огня, насекомых и микроорганизмов в состав плит вводят гидрофобизирующие вещества, антипирены, антисептики и др.

Номенклатура конструкционных полимерных материалов непрерывно пополняется (в значительной мере благодаря гибридным материалам). Например, тонкие листы алюминия, *армированные волокна* бора *склеивают послойно с органопластиками*, получая материал с уникальной вибростойкостью.

Композиционные материалы на металлической матрице (КММ) значительно превосходят по эксплуатационным характеристикам металлы и сплавы, в частности, по жаростойкости, жесткости, удельной прочности. Взаимодействие матрицы и усиливающих компонентов КММ протекает главным образом в форме диффузии и химических реакций.

Номенклатура КММ делится на следующие группы:

- *дисперсно-упрочненные материалы*, армированные частицами (в том числе — псевдосплавы, полученные методом порошковой металлургии);
- *эвтектические композиционные материалы* — сплавы с направленной кристаллизацией эвтектических структур;
- *волокнистые* материалы, армированные дискретными, или непрерывными волокнами.

Дисперсно-упрочненные материалы — когда в металлической матрице равномерно распределены частицы упрочняющей фазы сверхмалых размеров. Такие материалы формуются *спеканием* мелкодисперсных частиц оксидов, карбидов и других тугоплавких соединений, которые при высоких температурах не растворяются в матрице.

Технология формования изделий из таких КММ относится к области порошковой металлургии и включает операции получения порошковых смесей, их прессования в форме, спекания, деформирования и термообработки заготовок.

КММ из спеченного алюминиевого порошка (СПП) превосходят по прочности все промышленные алюминиевые сплавы. Материалы на основе меди, упрочненные оксидами, карбидами, приобретают жаропрочность, которая сочетается с высокой электропроводностью, присущей медной матрице. Они используются для изготовления электроконтактов.

Псевдосплавы состоят из металлических фаз, не образующих растворы и не вступающих в химические соединения.

Технология их формирования также относится к области порошковой металлургии. Порошковые смеси подвергаются пропитке расплавом легкоплавкого компонента псевдосплава. Температура пропитки находится в интервале температур плавления тугоплавкого и легкоплавкого компонентов.

Номенклатура псевдосплавов включает материалы, предназначенные для решения задач триботехники. Материалы на основе вольфрама (W-Cu и W-Ag), молибдена (Mo-Cu) и никеля (Ni-Ag) сочетают высокую твердость, прочность и электропроводность. Псевдосплавы на основе железа (Fe-Cu, Fe-C-Cu и др.) износостойки, хорошо работают при воздействии ударных нагрузок; содержащие свинец и серебро — применяются для изготовления самосмазывающихся подшипников.

Эвтектические композиционные материалы — сплавы эвтектического состава, в которых армирующей фазой служат ориентированные (методами направленной кристаллизации) волокнистые или пластинчатые кристаллы.

Номенклатуру эвтектических КММ делят на две части:

- *материалы конструкционного назначения* — на основе легких сплавов, жаропрочные — на основе тугоплавких металлов (например, сплавы на основе алюминия применяют для изготовления высокопрочных электрических проводов; сплавы на основе никеля и кобальта — для изготовления лопаток и крепежных деталей газотурбинных двигателей);
- *материалы с особыми физическими свойствами* — полупроводниковые, ферромагнитные и др., применяются в электронной технике для изготовления бесконтактных переменных сопротивлений, переключателей электрических цепей; магнитные КММ применяют для изготовления магнитопроводов, носителей информации (магнитные диски).

Волокнистые материалы — КММ, армированные волокнами, обладают необычайно высокими механическими характеристиками. Технология их формирования включает процессы прессования, прокатки, совместной вытяжки, экструзии, сварки, напыления или осаждения, а также пропитки. Все это обусловливает

оптимальную реализацию свойств волокон в технических изделиях.

Номенклатура волокнистых КММ включает множество материалов на матрицах из алюминия, магния, титана, меди, никеля, кобальта и др., предназначенных для авиационной, космической и других областей техники, где высокая первоначальная стоимость разработки материалов окупается за счет выигрыша в их эксплуатационных характеристиках.

Керамические композиционные материалы (ККМ) — у которых матрица выполнена из керамического материала, полученного из неметаллического минерального сырья (глин, оксидов и других соединений).

Дисперсные ККМ состоят из матрицы и частиц металлического наполнителя, равномерно распределенных по объему материала. В *армированных* ККМ волокнообразный металлический наполнитель может быть расположен произвольно и ориентированно.

Металлокерамические материалы на основе кремния или алюминия используют для изготовления деталей двигателей внутреннего сгорания. В фирмах «Дженерал моторс» и «Форд моторс» получены положительные результаты испытаний металлокерамического блока цилиндров. Аналогичные работы проводят фирмы «Даймлер Бенц», «Порше». Японская фирма «НГК Спарк Плаг» испытала двигатель, который полностью выполнен из керамических материалов.

Слоистыми ККМ являются конструкции, состоящие из металлической основы с нанесенным керамическим покрытием. Керамический компонент такого материала может быть нанесен на металл эмалированием, газопламенным напылением, разложением солей металлов с последующим их окислением.

Углерод-углеродные композиционные материалы (УКМ), армирующий каркас которых изготовляют из углеродных волокон, а матрицу – из монолитного углерода.

В России производятся композиты на пироуглеродной матрице УКМ-1 (армирован углеграфитовой тканью УУТ-2), УКМ-2 (армирован карбонизированным углепластиком); графиты, уплотненные гидроуглеродом — ГМЗ-ПУ, ПГ-50-ПУ, ЭГ-0-ПУ

(получают осаждением пироуглерода в порах графита путем термического разложения газообразных углеводородов), и др.

Углерод-углеродные композиционные материалы применяют для изготовления деталей, работающих в условиях высоких температур (прокладки и уплотнения теплообменной аппаратуры и т. д.).

Контрольные вопросы

1. *Что называется композиционными материалами?*
2. *По каким параметрам классифицируются композиционные материалы?*
3. *В каких целях используются композиционные материалы?*

Раздел 6

ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ

Топливо, масла и смазки являются основными эксплуатационными материалами на автомобильном транспорте. Они могут отличаться своими эксплуатационными качествами в зависимости от вида и особенностей сырья, из которого их получают, а также в зависимости от способа переработки этого сырья.

Высокоэффективной сырьевой базой для производства автомобильных жидких топлив, масел, различных смазок является нефтяное сырье — нефть, природный и попутный нефтяной газ и разнообразные продукты нефтепереработки.

Из нефти и газа также вырабатывают каучуки, пластмассы, краски и многие другие продукты, применяемые во всех отраслях народного хозяйства.

Другими источниками сырья для получения автомобильных топлива и масел служат каменный и бурый уголь, торф, сланцы.

Бензины

Основные технико-экономические требования к бензинам сводятся к следующему:

- бензин должен обеспечивать безотказную работу автомобильного двигателя на всех режимах и во всех практически встречающихся условиях эксплуатации;
- двигатель должен развивать предусмотренную для него мощность при минимальном расходе бензина;
- бензин должен обеспечивать минимальные износы двигателя, трудовые и материальные затраты на ремонт и техническое обслуживание двигателя;
- качество бензина не должно ухудшаться при транспортировании, хранении и использовании;
- обращение с бензином не должно вызывать повышенной опасности для персонала, занимающегося эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом автомобилей.

Исходя из названных выше требований устанавливается соответствие бензина данным конкретным условиям и возможность его применения.

Соответствие бензина перечисленным требованиям зависит прежде всего от его физико-химических свойств, которые определяются рядом показателей. Основные показатели физико-химических свойств бензинов указываются в стандарте или в технических условиях на бензин.

Стандартизация основных показателей физико-химических свойств обеспечивает одно и то же качество бензина данной марки.

Фракционный состав, давление насыщенных паров, детонационная стойкость, а также содержание механических примесей и воды в бензине определяют способность данного бензина образовывать бензино-воздушную смесь нужного состава при различных условиях работы двигателя, в том числе при низких и высоких температурах, минимальных и максимальных числах оборотов коленчатого вала, при приоткрытом или полностью открытом дросселе, т. е. определяют карбюрационные качества бензина, от которых зависит безотказность работы двигателя.

От них зависят также быстрота и полнота сгорания бензино-воздушной смеси в цилиндрах двигателя, возможность работы двигателя на наиболее экономичных режимах, т. е. мощность, развиваемая двигателем, и количество расходуемого при этом бензина.

Кроме перечисленных физико-химических свойств на износ двигателя и на затраты по уходу за автомобилем влияет также содержание в бензине минеральных и органических кислот, щелочей, смол, серы и ее соединений.

Водорастворимые (минеральные) кислоты и щелочи корродируют металлы, и их присутствие в бензине вызывает интенсивный износ деталей двигателя. В бензине в результате некачественной очистки могут оказаться серная кислота и щелочь. Стандартами на автомобильные бензины не допускается содержание в них хотя бы следов водорастворимых кислот и щелочей. Поэтому бензин подвергают качественной проверке на нейтральность, чтобы установить его соответствие требованиям

стандарта в части содержания в нем водорастворимых кислот и щелочей.

Органические (высокомолекулярные нафтеновые нерастворимые в воде) кислоты корродируют металлы значительно слабее, чем минеральные. В основном, они представляют опасность для цветных металлов, и в первую очередь для свинца и меди. Железо, например, поддается коррозии под действием органических кислот в десятки раз слабее, чем свинец и медь.

Содержание органических кислот в автомобильных бензинах строго ограничивается.

Особой коррозионной агрессивностью отличаются активные сернистые соединения, к которым относятся элементарная сера (S), сероводород (H_2S) и меркаптаны (R-S-H). Присутствие активной серы в бензине не допускается. Неактивные сернистые соединения вызывают коррозию только при их сгорании вместе с бензином. При этом образуются газы, вызывающие коррозию деталей двигателя.

Смолы в бензине образуют нерастворимые липкие, вязкие осадки темного цвета, которые отлагаются на стенках топливных баков, топливопроводов, в карбюраторе, во впускном трубопроводе, камере сгорания, на стержнях и тарелках впускных клапанов и т. д. Под действием высокой температуры смолистые образования коксуются и превращаются в нагар.

Первоначальные качества бензина вследствие происходящих в них физико-химических процессов постепенно ухудшаются. Сохранение первоначальных качеств бензина в процессе транспортирования, хранения и применения зависит от его физической и химической стабильности.

О химической стабильности бензина судят по величине индукционного периода.

Токсичность является важнейшей характеристикой бензина. В связи с этим чрезвычайно важно, чтобы ни сам бензин, ни его пары и нагар не представляли повышенной опасности для здоровья лиц, соприкасающихся с ними.

В соответствии с ГОСТ 2084-77 отечественной промышленностью выпускаются бензины следующих марок: А-76, АИ-91, АИ-95.

В зависимости от октанового числа, определенного исследовательским методом, ГОСТ Р 51105-97 устанавливает следующие марки неэтилированных автомобильных бензинов: Нормаль 80, Регулятор 91, Премиум 95, Супер 98. Дополнением к ГОСТ Р 51105-97, введенным 01.01.2000 г., установлена марка бензина Регулятор 92.

Стандарт для указанных выше марок бензина разработан с учетом рекомендаций европейского стандарта Е 228-1993 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Требования и методы испытаний».

В соответствии с техническими условиями (ТУ 38.001165-97) отечественной промышленностью выпускаются следующие экспортные автомобильные бензины: А-80, А-92, А-96.

Дизельное топливо

Дизельное топливо после бензина относится к самым массовым продуктам, применяемым на автомобильном транспорте.

Автомобильное дизельное топливо получают путем прямой перегонки или каталитического крекинга керосино-соляровых фракций нефти; оно состоит в основном из керосиновых, газойлевых, а иногда и лигроиновых фракций.

Дизельное топливо производится из отбензиненной нефти, благодаря чему увеличивается выход из нефти жидких топлив, и обладает по сравнению с бензином лучшей физической и химической стабильностью.

Технико-экономические требования к дизельным топливам носят тот же характер, что и к бензинам.

Кроме того, к дизельному топливу предъявляются специфические требования, вытекающие из особенностей рабочего процесса дизельного двигателя.

Дизельное топливо должно:

— бесперебойно поступать в цилиндры двигателя при любых практически встречающихся температурах и обеспечивать легкий пуск двигателя;

— обеспечивать хорошее распыливание и смесеобразование в цилиндрах двигателя;
— легко воспламеняться и плавно сгорать, обеспечивая мягкую и бездымную работу двигателя;
— образовывать минимальное количество нагара, отложений и не вызывать коррозии и коррозионных износов деталей, соприкасающихся с дизельным топливом и продуктами его сгорания.

В соответствии с техническими условиями предусмотрен выпуск следующих марок дизельного топлива: ДИТО-ЭЛ, ДИТО-ЭЛп, ДИТО-ЭЗ-минус 15, ДИТО-ЭЗ-минус 25, ДИТО-ЭЗп-минус 15, ДИТО-ЭЗ-минус 20, ДИТО-ЭЗ-минус 25, ДИТО-ЭЗп-минус 30.

Дизельные топлива выпускают марок А — арктическое, применяемое при температуре воздуха ниже –30°С; З — зимнее, используемое при температуре от –20°С до 0°С; летние, предназначенные для применения при температуре воздуха выше 0°С.

Техническими требованиями не допускается содержание сероводорода и водорастворимых кислот и щелочей.

В зависимости от содержания массовой доли серы установлено 3 вида дизельных топлив:

I — массовая доля серы — не более 0,05 %;

II — массовая доля серы — не более 0,1 %;

III — массовая доля серы — не более 0,2 %.

В то же время по внешним признакам дизельное топливо довольно легко отличить от других светлых нефтепродуктов, и в частности, от бензина.

Дизельное топливо обладает слабым, нерезким запахом, имеет цвет от светло-коричневого до бурого с синеватым оттенком. Капля дизельного топлива после испарения оставляет на листе чистой бумаги жирное пятно, в то время как бензин испаряется бесследно или почти бесследно.

Сжатые и сжиженные газы

Сжиженные газы получают в виде побочного продукта при переработке нефти (крекинг, пиролиз) и бурых углей (деструктивная гидрогенизация).

Сжиженные газы состоят в основном из пропанобутановых фракций. Кроме пропана (C_3H_8) и бутана (C_4H_{10}) в состав газа могут входить пропилен (C_3H_6), бутилен (C_4H_8), этан (C_2H_6), этилен (C_2H_4), пентан (C_5H_{12}) и амилены (C_5H_{10}).

При нормальном атмосферном давлении и температуре выше 0°С сжиженные газы находятся в газообразном состоянии, но при сравнительно небольшом повышении давления (до 8—16 МН/м^2) и обычной температуре они переходят в легкоиспаряющуюся жидкость.

Теплота сгорания, а следовательно, энергетические качества сжиженного газа и газо-воздушной смеси не уступают соответственно бензину и бензо-воздушной смеси

Для сжиженного газа применяются достаточно легкие баллоны и несложная газовая аппаратура, рассчитанные на рабочее давление 1,6 МН/м^2, которые практически не снижают грузоподъемность автомобиля.

Углеводородные сжиженные топливные газы должны отвечать требованиям ГОСТ 27578-87.

Марка сжиженного газа ПА — пропан автомобильный применяется при температуре окружающего воздуха −20°С, −35°С, марка ПБА — пропан-бутан автомобильный применяется при температуре окружающего воздуха не ниже −20°С. Стандартом предусмотрено полное отсутствие содержания в сжиженном газе свободной воды и щелочи. При массовой доле меркаптановой серы менее 0,001 % сжиженные газы должны быть одорированы. Температура самовоспламенения в воздухе при давлении 0,1 МПа составляет: пропана — 466°С, изобутана — 462°С, бутана — 405°С. Зимой применяется марка ПА с содержанием массовой доли пропана 90±10, а летом — марка ПБА с содержанием пропана 50±10.

К сжатым относятся газы, которые при нормальной температуре сохраняют газообразное состояние даже при высоком давлении.

Основным компонентом сжатого газа является метан (CH_4). Кроме метана в состав сжатого газа могут входить этан (C_2H_6), водород (H_2), окись углерода (CO) и некоторые примеси. Сжатый газ должен иметь теплоту сгорания не ниже 32 600—36 000 кДж/м^3, т. е. для газобаллонных автомобилей могут применяться только высоко- и среднекалорийные газы.

Теплотворная способность (теплота сгорания) газовоздушной смеси ниже теплотворной способности бензиновоздушной смеси. И все же благодаря присущим положительным качествам сжатые газы нашли применение в виде топлива для автомобилей.

К числу таких качеств относятся: меньшая загрязненность воздуха отработанными газами, легкость пуска двигателя при низких температурах, меньший износ двигателя.

Радикальным средством, устраняющим основные недостатки сжатых газов, является сжижение метана и богатых им горючих газов при низкой температуре (ниже −160°С). Жидкий метан можно хранить при атмосферном давлении в таре с надежной теплоизоляцией.

Природный попутный газ содержит 70—98 % (по объему) метана и 1—10 % этана и других углеводородов.

Контрольные вопросы

1. *Перечислите требования, предъявляемые к бензинам.*
2. *Назовите показатели физико-химических свойств бензинов.*
3. *Приведите требования, предъявляемые к дизельному топливу.*
4. *Перечислите марки дизельного топлива и дайте им характеристику.*
5. *Перечислите основные показатели сжатых газов, определяющие эффективность их применения в качестве автомобильного топлива.*

Моторные и трансмиссионные масла

Смазочные масла применяют для уменьшения потерь энергии на трение и для снижения износа трущихся деталей. Масло охлаждает и очищает от продуктов износа трущиеся поверхности, а также предохраняет их от коррозии.

Требования к смазочным маслам сводятся к следующему:

- разделять трущиеся детали надежным масляным слоем для обеспечения жидкостного трения или же в особо трудных условиях создавать на их поверхности прочную масляную пленку для обеспечения граничного трения, предохранять детали от сухого трения;
- удерживаться на поверхности неработающих деталей для предохранения их от коррозии;
- отводить тепло от трущихся деталей;
- обладать способностью смывать с трущихся поверхностей продукты износа и легко отделяться от них;
- не изменять длительное время свои свойства в процессе работы и хранения;
- быть экономным и недефицитным.

Эти общие требования уточняются, когда выбирается смазочное масло для конкретных деталей и механизмов, работающих в определенных условиях. Так, к маслам для двигателей дополнительно предъявляется требование быть устойчивым при высокой температуре, а при сгорании образовывать минимальное количество нагара

Эксплуатационные качества масла зависят от его физико-химических свойств. Не все физико-химические свойства в одинаковой мере влияют на качество масла. Наиболее важными из них, определяющими эксплуатационные качества масла, являются его вязкостно-температурные свойства.

Физико-химические свойства масел по их влиянию на эксплуатационные качества можно разделить на следующие группы:

- свойства, влияющие на смазывающие и вязкостно-температурные качества масел;

— свойства масел, от которых зависит образование нагара в двигателе и отложений в двигателе и агрегатах трансмиссии;
— свойства, влияющие на коррозионный износ деталей;
— контрольные показатели, дополнительно характеризующие однородность продукции разных партий и разных заводов.

К смазывающим и вязкостно-температурным качествам масел относится вязкость, от величины которой зависят износ трущихся деталей и потери энергии на трение.

Вязкость смазывающих материалов выражают в единицах кинематической вязкости (в стоксах и в сантистоксах), либо в условных единицах — градусах Энглера. При этом кроме численного значения указывается температура масла в момент определения вязкости.

Вязкость масел нормируется в зависимости от условий работы: для моторных масел при температуре 100°С, для индустриальных — при 50°С, для трансформаторных — при 20°С.

Свойство смазочных материалов изменять вязкость по сравнению с эталонным маслом при повышении или понижении температуры имеет важное значение и оценивается индексом вязкости. Чем больше изменяется вязкость, тем ниже ее индекс и хуже вязкостные свойства. Чем выше температура, при которой эксплуатируется механизм, тем более вязкими должны быть смазочные материалы. Несмотря на это вязкость масла всегда должна быть минимальной, так как с ее увеличением неизбежно возрастают потери энергии на трение по сравнению с потерями при менее вязком масле, но также обеспечивающем жидкостное трение.

Смазочные материалы, подаваемые к трущимся поверхностям в жидком состоянии, должны застывать при возможно более низкой температуре, называемой температурой застывания.

Смазывающие материалы не должны содержать механические примеси, воду, водорастворимые кислоты и щелочи, так как они ухудшают смазочные свойства нефтепродуктов, усиливают их коррозионное воздействие и способствуют износу деталей механизмов.

Для улучшения определенных свойств смазочных материалов применяют различные присадки, которые в зависимости от свойств бывают нескольких видов.

Моющие присадки предотвращают образование отложений на трущихся поверхностях механизмов путем удержания твердых частиц во взвешенном состоянии. К этим присадкам относятся сульфонатная присадка СБ-3, присадка ПМСя, обеспечивающие чистоту деталей двигателя от углеродистых отложений.

Антиокислительные присадки (ДФ-1) повышают устойчивость масел против окисления. Присадки (ДФ-1) улучшают не только антиокислительные свойства моторных масел, но и противоизносные, антикоррозионные и моющие свойства.

Депрессорные присадки несколько снижают температуру застывания моторных масел, затормаживая процесс образования кристалликов парафина. К этому виду относятся присадки АФК, В-2.

Присадка АФК — применяют для зимних моторных масел.

Присадки В-2 повышает вязкость масел.

Многофункциональные присадки одновременно улучшают несколько свойств моторных масел. К ним относятся: присадка ВНИИ НП-360, улучшающая антиокислительные, антикоррозионные и моющие свойства моторных масел; присадка ЦИАТИМ 339, улучшающая моющие и антикоррозионные свойства; присадка МНИ-ИГ-22к, улучшающая антиокислительные, антикоррозионные и моющие свойства моторных масел.

Качество смазочных материалов снижается из-за попадания в них воды, бензиновых фракций, механических примесей, а также продуктов износа. Все это вынуждает периодически заменять отработанные смазочные материалы. Периодичность замены смазочных материалов указывают в условиях на техническое обслуживание механизмов и двигателей.

Смазочные масла, используемые в двигателях внутреннего сгорания, называют моторными маслами и предназначены они для смазывания двигателей под давлением и разбрызгиванием.

В зависимости от способа изготовления моторные масла могут быть дистиллятными и остаточными. Дистиллятные масла получают перегонкой мазута с последующей очисткой получен-

ного дистиллята, остаточные масла — путем перегонки полугудрона — продукта, оставшегося после отделения дистиллята от мазута

Моторные масла должны обладать антифрикционными и противоизносными свойствами во всем интервале рабочих температур; минимальной склонностью к образованию различного рода отложений (нагаров, осадков) и пенообразованию при работе двигателя; антикоррозионными и моющими свойствами. При транспортировании и длительном хранении эксплуатационные свойства масел должны сохраняться.

Свойства моторных масел и долговечность механизмов взаимосвязаны. Правильный выбор продолжительности применения масел в механизме без замены имеет большое значение. Срок смены масла указывается в картах смазывания двигателей (или механизмов). Свойства моторных масел оценивают в процессе специальных натурных испытаний, т. е. эксплуатации двигателя в заранее установленных и контролируемых условиях.

Моторные масла применяют для смазывания двигателей внутреннего сгорания широкого профиля (автомобилей, строительных машин, тракторов, бульдозеров). В зависимости от области применения *моторные масла подразделяются* на 6 групп: А — для нефорсированных карбюраторных и дизельных двигателей; Б — малофорсированных карбюраторных (Б1) и дизельных (Б2) двигателей; В — среднефорсированных карбюраторных (В1) и дизельных (В2) двигателей; Г — высокофорсированных карбюраторных (Г1) и дизельных (Г2) двигателей; Д — высокофорсированных дизельных двигателей, работающих в тяжелых условиях; Е — дизельных малооборотных двигателей с лубрикаторной системой смазки.

Моторные масла маркируются в пределах каждой группы в зависимости от условий применения, их вязкости и эксплуатационных качеств. Моторные масла с уровнем вязкости, оцениваемой при температуре 100°С, 6 и 8 мм^2/с следует применять в зимний период, а масла с вязкостью 10, 12, 14, 16 и 20 ± 0,5 мм^2/с — в летний.

Маркировка моторных масел состоит из буквенных и цифровых индексов. Например: М-10Г$_2$к, М-14Г$_2$

М — моторное масло; 10 и 14 — уровни кинематической вязкости при температуре 100°С, мм²/с; $Г_2$ — масло по эксплуатационным свойствам относится к группе $Г_2$; к — масло предназначено для двигателей типа «КамАЗ».

Ассортимент отечественных моторных масел исчисляется несколькими десятками и в основном определяется стандартами: ГОСТ 10541-78, ГОСТ 8581-78, ГОСТ 12337-84, ГОСТ 17479.1-85.

Трансмиссионные масла — продукт прямой перегонки нефти — содержат значительное количество природных поверхностно-активных смолистых веществ. Трансмиссионные масла применяют для смазывания сборочных единиц трансмиссии различных механизмов: коробок передач, гипоидных передач, рулевого управления, трущихся деталей задних мостов, раздаточных коробок, различных редукторов.

Трансмиссионные масла без присадок предназначены для деталей наземных машин с механической тягой при умеренных нагрузках, а с противозадирными (ОТП) и противоизносными (ЭФО) присадками — для высоконапряженных спирально-конических и гипоидных передач.

Трансмиссионные масла вырабатывают нескольких марок: летнее, зимнее, всесезонное, северное и арктическое, отличающиеся одна от другой вязкостью, температурами вспышки и застывания, а также присадками. Для летних марок характерна вязкость 14—20 мм²/с при температуре 100°С, для зимних — 10 мм²/с.

Трансмиссионные масла по назначению делятся на масла общего назначения, универсальные, гипоидные.

Отечественной промышленностью выпускаются около двух десятков трансмиссионных масел для механических передач различного уровня качества и назначения.

Основные марки масел включены в ГОСТ 23652-79.

К трансмиссионным маслам общего назначения относятся масла ТАп 15В, ТСп-15к. Эти масла совместимы и можно одно масло заменять другим без специальной промывки устройств.

Трансмиссионное масло ТАп-15В служит для всесезонного применения в агрегатах трансмиссий автомобилей, зубчатых

редукторах (кроме гипоидных), работающих при температуре окружающего воздуха до −30°С.

Трансмиссионное масло ТСп-15к, предназначенное для всесезонного применения в средней климатической зоне, характеризуется хорошими антикоррозионными свойствами, а также антиокислительной стабильностью

Трансмиссионное универсальное масло ТАД-17и служит для смазывания задних мостов, коробок передач и рулевых механизмов при температуре окружающего воздуха до −35°С.

К трансмиссионным гипоидным маслам относятся масла ТСп-14ГИП, ТСЗ-9ГИП.

Гипоидное масло ТСп-14ГИП используется всесезонно при температуре окружающего воздуха до −40°С. Гипоидное масло ТСЗ-9ГИП, свойства которого определены техническими условиями, применяют в северных районах при температуре окружающего воздуха до −50°С.

Наряду с указанным стандартом требования к трансмиссионным маслам определяются рядом технических условий.

В процессе эксплуатации происходит не только уменьшение количества масла, но и ухудшение его первоначальных качеств.

Количество масла уменьшается в результате испарения и подтекания через сальники и другие уплотнения, а в двигателе количество масла уменьшается, главным образом, за счет его выгорания в камере сгорания.

Изменение свойств масел при работе происходит под действием двух причин:

- загрязнения масла попадающими в него металлическими частицами, пылью, водой, нагаром, топливом;
- образованием в масле продуктов окисления.

Ухудшение свойств масла вследствие загрязнения его продуктами, попадающими извне, не зависит от первоначального качества масла.

Интенсивность же образования в масле продуктов окисления при одинаковых условиях работы смазываемого агрегата или механизма целиком зависит от качества масла.

Обе эти причины вызывают постепенное ухудшение качества масла, что в свою очередь приводит к увеличению износа тру-

шихся деталей, сокращению сроков службы механизмов и агрегатов, повышению затрат на их ремонт.

Ухудшение качества масла приводит к необходимости его периодической замены.

В маслах при их работе в двигателях происходят сложные процессы, протекание которых зависит от многих факторов и в том числе от качества масла, типа двигателя, его технического состояния, режима и условий работы, качества и рода топлива, надежности работы масляных, топливных фильтров и воздухоочистителей, климатических условий и других факторов.

Поскольку соотношение факторов, влияющих на протекающие в масле процессы, в каждом конкретном случае может быть индивидуальным, то могут изменяться и причины, по которым масло становится непригодным для дальнейшего использования. В одних случаях будет недопустимо большое содержание механических примесей, в других — топливных фракций, в третьих — воды, в четвертых — кислот и т. д.

Сроки смены масла являются примерными и средними, поэтому желательно, кроме них, пользоваться некоторыми широкодоступными критериями, позволяющими уточнить рекомендуемые сроки смены масла.

Такими критериями могут быть цвет и вязкость масла, содержание механических примесей, осадков и воды в нем.

С известной условностью о загрязненности масла примесями можно судить *по меткам на конце маслоуказателя*. Для этого из картера прогретого двигателя быстро вынимают маслоуказатель и рассматривают на нем метки, покрытые слоем масла. Если метки хорошо видны, то на таком масле можно продолжать работу. Если же метки не видны, а фильтры исправны, то масло нужно менять.

Вторым доступным для автохозяйства методом при определении качества работавшего масла является измерение его вязкости шариковым вискозиметром (полевым). Этот портативный прибор позволяет путем сравнения с маслом, вязкость которого известна, устанавливать вязкость испытываемого масла.

Вода в масле может быть обнаружена отстаиванием в течение 2 --3 ч залитого в прозрачную посуду прогретого масла, по

пузырькам водной эмульсии при сливе масла и нагревании масла в пробирке до 100—105°С. В последнем случае при наличии влаги масло будет вспениваться. Кроме того, пары воды, охлаждаясь, будут осаждаться мельчайшими капельками на холодных стенках верхней части пробирки.

Представление о количестве образовавшихся в двигателе осадков и необходимости промывки картера можно получить по их наличию на стенках клапанной коробки.

Качество свежих масел, поступающих в автохозяйство, контролируется прежде всего по паспорту. На основании данных последнего можно установить соответствие показателей физико-химических свойств масла, предусмотренных стандартом или техническими условиями.

Качество свежих масел можно проверить теми же упрощенными способами, что и работающих, но пользоваться нужно другими количественными критериями.

Различить масла разных марок по таким их внешним признакам, как цвет и запах, — задача трудная, так как эти признаки не являются достаточно характерными. Поэтому необходимо внимательно следить, чтобы на таре были бы четко нанесены наименования хранящихся в ней масел.

Следует отметить, что трансмиссионные масла имеют черный цвет, кроме гипоидного, имеющего коричневую окраску.

Масла для двигателей, как правило, более светлые и их цвет в проходящем свете бывает от светлого до темно-коричневого.

По запаху выделяются масла, содержащие сернистые присадки, например ТАп-15В, которое имеет резкий запах. У остальных масел запах слабо различим.

Контрольные вопросы

1. *Расскажите о назначении масел.*
2. *Назовите основные требования, предъявляемые к маслам.*
3. *Перечислите основные физико-химические свойства масел.*
4. *Назовите марки моторных масел.*

5. *Перечислите марки трансмиссионных масел, дайте их характеристики и расскажите о применении в узлах трения.*

Пластичные смазки

Для смазки наряду с жидкими маслами применяются пластичные смазки, находящиеся в пластическом мазеобразном состоянии. Применяются они в таких узлах трения, где трудно создать герметичность для жидкого масла и трудно защитить поверхности деталей от проникновения влаги, пыли, грязи.

Пластичные смазки обладают более низкими смазочными качествами, чем жидкие масла, и поэтому применяются там, где относительно невелики потери на трение. В некоторых случаях пластичная смазка применяется только или главным образом для защиты от коррозии.

Требования к пластичным смазкам вытекают из их назначения и сводятся к следующему:

— разделять трущиеся детали прочной смазочной пленкой для уменьшения износов и потерь на трение;
— удерживаться в узлах трения, не вытекая из них;
— защищать трущиеся детали от попадания пыли, влаги и грязи;
— не вызывать коррозионного износа деталей;
— легко продавливаться (прокачиваться) по смазочным каналам, не требуя для этого слишком больших давлений;
— не изменять длительное время своих свойств в процессе работы и хранения;
— быть экономичными и недефицитными.

Производство пластичных смазок существенно отличается от производства жидких масел и в основном сводится к смешиванию (варке) в определенных пропорциях входящих в них компонентов.

Основой любой консистентной смазки является жидкое минеральное масло (75—90 %).

От качества жидкого масла зависят смазывающие свойства консистентной смазки.

Вторым непременным составным элементом смазки является загуститель. Добавление к жидкому минеральному маслу загустителя превращает его в пластичную смазку, т. е. густую малоподвижную мазеобразную массу. От вида загустителя зависят такие важные эксплуатационные свойства пластичных смазок, как температурная стойкость и влагостойкость. Загустители делятся на немыльные и мыльные.

В качестве немыльных загустителей используются парафин, церезин, петролатум, воск и др.

Пластичная смазка, изготовленная на немыльном загустителе (углеводородная), обладает хорошей химической и физической стабильностью и хорошо предохраняет детали от окисления кислородом воздуха. В то же время она имеет низкие смазывающие и температурные свойства и поэтому преимущественно используется как защитная (кроме алюминиевых деталей).

Мыло-загуститель получают омылением жира щелочью.

Мыльные смазки по типу катиона делят на кальциевые, натриевые, литиевые, бариевые, алюминиевые и другие (используют около 10 различных мыл, а также их смеси).

В зависимости от состава жиров, употребляемых для приготовления мыльных загустителей, выделяют смазки на синтетических жирных кислотах (получают при окислении парафинов) и природных жирах, а также на технических жирных кислотах (стеариновой, 12-оксистеариновой и др.).

Все более широкое применение находят комплексные мыльные смазки, для приготовления которых используют мыла высших жирных кислот и соли низкомолекулярных органических (иногда и минеральных) кислот.

В качестве загустителей все чаще используют продукты неорганического происхождения — силикагель, бентонитовые глины и технический углерод.

Физико-химические свойства смазок характеризуются рядом показателей, указываемых в стандартах или технических условиях.

Все показатели физико-химических свойств пластичных смазок с некоторой условностью делятся на две группы.

К первой группе показателей, характеризующих прокачиваемость, температурные условия применения смазки, смазывающие и защитные ее свойства, относятся: пенетрация, температура каплепадения, эффективная вязкость, предел прочности, коллоидная стабильность.

Ко второй группе, характеризующей предельное содержание примесей, относятся: содержание щелочей, кислот, механических примесей, воды, золы.

Применяемые пластичные смазки по их основному назначению подразделяют на антифрикционные, защитные и уплотнительные.

Антифрикционные смазки снижают износ и трение сопряженных деталей механизмов, ниже приведены группы антифрикционных смазок.

Антифрикционные смазки общего назначения для обычных температур (группа С) используют для узлов трения с рабочей температурой до 70°С. К этой группе смазок относят: солидолы, смазки АМ (карданные), ЯНЗ-2, графитную УСсА, ЛИТОЛ-24 и ЦИАТИМ-201.

Солидолы вырабатывают загущением индустриальных масел кальциевыми мылами жирных кислот, получаемых на основе натуральных растительных масел (жировой солидол) или синтетических жирных кислот. Солидолы предназначены для смазывания грубых и малоответственных поверхностей трения машин и механизмов, ручного инструмента. Солидолы работоспособны в течение относительно малого срока времени.

Пресс-солидол С используют главным образом для поверхностей трения шасси автомобилей, к которым он подается под давлением; солидол С — для смазывания подшипников качения и скольжения, шаровых, винтовых и цепных передач, тихоходных шестеренных редукторов и других узлов трения. Жировой солидол УС, выпускают двух марок: УС-1 (пресс-солидол) и УС-2, работоспособность которых ограничена диапазоном температур от −50 до +65°С. В маркировке буквы обозначают: у — универсальная, с — синтетическая, с — среднеплавкая. Гидратированная кальциевая смазка графитная УСсА применяется для смазывания рессор автомобилей, открытых зубчатых колес, торсионных под-

весок, резьб домкратов. Применять солидолы в качестве защитных смазок не рекомендуется, так как в них содержится до 3 % воды, которая может вызывать коррозию металла под слоем смазки.

Смазка ЯНЗ-2 — автомобильная тугоплавкая кальциево-натриевая служит для смазывания подшипников ступиц колес, первичного вала коробки передач, генераторов автомобилей и др. Может заменять солидол.

Смазка ЛИТОЛ-24 — универсальная смазка на литиевых мылах 12-оксистеариновой кислоты предназначена для поверхностей трения, для которых рекомендуются солидолы и смазка ЯНЗ-2.

До недавнего времени большую часть литиевых смазок готовили на мылах стеариновой кислоты — *ЦИАТИМ-201*, которая предназначена для узлов трения, работающих при относительно низких нагрузках и невысоких температурах.

Смазки для повышенных температур (группа 0) используют для узлов трения с рабочей температурой до 110°С. К этой группе относятся смазки: ЦИАТИМ-202, ЛЗ-31, 1-13.

Смазка ЦИАТИМ-202 служит для смазывания подшипников качения, работающих в интервале температур —40 — +110°С. Смазка токсична, и при работе с ней следует применять индивидуальные средства защиты.

Смазку Л3-31 применяют для закрытых подшипников качения, не контактирующих с водой, а также для выжимного подшипника сцепления автомобилей ЗИЛ и ГАЗ, работающих в интервале температур от —40 до +120°С.

Смазки 1-13 на натриевых и натриево-кальциевых мылах предназначена для смазывания подшипников качения, опор карданного вала, первичного вала коробки передач, ступиц колес, оси и шарниров педачей управления. Смазка готовится загущением нефтяных масел натриево-кальциевым мылом касторового масла. Вариант указанной смазки — смазка 1-Л3, отличающаяся присутствием антиокислителя дифениламина. Применяется при температуре от —20 до +110°С.

Смазка Констатин (1 и 2) изготавливается на натриевых и натриево-кальциевых мылах, служит для поверхностей трения,

работающих в условиях отсутствия влаги при температуре от 20 до +110°С. По внешнему виду — это однородная мазь от светло-желтого до темно-коричневого цвета.

Редукторные (трансмиссионные) смазки (группа Т) предназначены для зубчатых и винтовых передач всех видов. К этой группе относится индустриальная кальциевая смазка ЦИАТИМ-208. Смазку используют для смазывания тяжелонагруженных шестеренных редукторов, работающих при температуре от −30 до +100°С. Смазка токсична, поэтому при работе с ней следует применять индивидуальные средства защиты.

Морозостойкие смазки (группа Н) предназначены для поверхностей трения с рабочей температурой — 40°С и ниже. К этой группе относятся смазки ВНИИНП-257, ОКБ-122-7. Смазку ВНИИНП-257 применяют для смазывания шарикоподшипников и маломощных зубчатых передач. Смазка морозостойка, температура применения от −60 до +150°С. Смазка ОКБ-122-7 служит для смазывания шарикоподшипников и других поверхностей трения, работающих в интервале температур от −40 до +100°С.

Химически стойкие смазки (группа Х) предназначены для узлов трения, имеющих контакт с агрессивными средами. К этой группе относятся смазки: ЦИАТИМ-205, ВНИИНП-279. Смазка ЦИАТИМ-205 предохраняет от спекания неподвижные резьбовые соединения, работающие при температуре от −60 до +50°С.

К *противозадирным* и *противоизносным* смазкам (группа И) относится смазка ЦИАТИМ-203, которая служит для смазывания высоконагруженных шестеренных передач, червячных редукторов, опор скольжения и качения при температуре от −50 до +90°С.

Защитные (консервационные) смазки (группа К) предназначены для защиты металлических изделий и механизмов от коррозии при хранении, транспортировании и эксплуатации. Наиболее распространенной защитной смазкой является технический вазелин (УН). Консервационные смазки по объему производства занимают второе место после антифрикционных (около 15 % в общем объеме производства смазок). При правильном нанесении защитных смазок они препятствуют проникновению

к металлической поверхности коррозионно-агрессивных веществ, влаги и кислорода воздуха, тем самым предотвращают коррозию в течение 10—15 лет. Для улучшения защитных и противокоррозионных свойств в смазки вводят специальные присадки. Наряду с пластичными защитными смазками используют жидкие консервационные масла, пленкообразующие ингибированные нефтяные составы (ПИНС), мастики и некоторые другие продукты нефтяного происхождения. Несмотря на широкое распространение консервационных пластичных смазок, они имеют ряд недостатков. Одним из серьезных является большая трудность нанесения и удаления их с защищаемых поверхностей по сравнению с жидкими продуктами. Чтобы нанести или удалить смазку, зачастую приходится разбирать механизм, что осложняет и удлиняет консервацию и расконсервацию изделий.

Уплотнительные смазки предназначены для герметизации зазоров и щелей, подвижных и неподвижных узлов трения. Уплотнительной смазкой является смазка бензиноупорная (БУ). С ее помощью могут быть уплотнены соединения топливопроводов, топливных насосов, кранов систем питания и смазки. Она содержит цинковое мыло, касторовое масло и глицерин. Зимой для понижения вязкости можно добавлять до 25 % спирта.

По внешнему виду пластичная смазка должна представлять собой однородную массу без наличия комков, посторонних включений, примесей или выделившегося масла. Смазка, не отвечающая этим условиям, должна быть забракована.

Контрольные вопросы

1. *Каковы назначение и основные требования, предъявляемые к пластичным смазкам?*
2. *Перечислите основные физико-химические свойства пластичных смазок.*
3. *Приведите маркировку пластичных смазок и укажите области их применения.*
4. *Укажите способ определения качества пластичных смазок и их марок.*

Рабочие жидкости

Работа механизмов может быть связана с использованием охлаждающей жидкости для системы охлаждения двигателя, гидротормозной жидкости для тормозного привода, жидкости для амортизаторов, подъемных механизмов, гидравлических передач трансмиссии и гидротрансформаторов.

Знание свойств этих жидкостей и их разновидностей необходимо для организации их рационального использования.

Жидкости для системы охлаждения двигателя

Жидкость для системы охлаждения двигателя должна отвечать следующим требованиям:

- обладать высокой теплоемкостью, теплопроводностью и определенной вязкостью;
- иметь высокую температуру кипения и низкую температуру замерзания;
- не образовывать отложений на омываемых стенках и не загрязнять систему охлаждения;
- не вызывать коррозии металлических деталей и не разрушать резиновые детали;
- иметь хорошую химическую и физическую стабильность;
- не вызывать поломок деталей системы охлаждения при застывании, возможно меньше изменять объем при нагревании и не вспениваться при попадании нефтепродуктов;
- не обладать токсичностью и не повышать пожарную опасность;
- быть дешевой и недефицитной.

В качестве охлаждающей жидкости применяют воду и этиленгликолевые жидкости, не замерзающие при отрицательных температурах.

Вода в качестве охлаждающей жидкости имеет следующие преимущества: дешевизна, доступность, высокие теплоемкость и теплопроводность. Отрицательные свойства воды: замерзает

при отрицательных температурах и закипает при температуре выше 100°С; при достаточно жесткой воде образуется накипь; обладает коррозионной активностью. Органические примеси, в том числе нефтепродукты, попадая с водой в систему охлаждения, образуют шламы, которые загрязняют каналы и ухудшают отвод тепла.

Этиленгликолевые жидкости (антифризы) служат для заполнения системы охлаждения двигателей в зимнее время. Такие жидкости, представляющие собой раствор этиленгликоля (двухатомный технический спирт) с дистиллированной водой, выпускают двух марок: 40 и 65 (Тосол-А40, Тосол-А65).

Этиленгликолевые жидкости практически не горючи, однако они коррозионно-активны. Температура кипения неразбавленного этиленгликоля около 200°С, что значительно выше температуры кипения воды. При работе двигателя на этиленгликолевой жидкости вода может частично испаряться, что потребует добавления воды.

Чтобы снизить коррозионную активность этиленгликолевой жидкости, в нее добавляют присадку — фосфорнокислый натрий (двухзамещенный), при этом из системы охлаждения должна быть удалена накипь, чтобы избежать реакции присадки с накипью.

Этиленгликолевые жидкости ядовиты. Случайно попавшая внутрь организма жидкость вызывает тяжелые поражения почек и нервной системы.

Амортизационные жидкости

Жидкости для заполнения гидравлических амортизаторов должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к маслам, и прежде всего:

— иметь по возможности более низкую температуру застывания (до −60°С);

— обладать небольшой вязкостью (примерно 12 с Ст при 50°С) и незначительно изменять ее при изменении темпе-

ратуры, т. е. иметь хорошие вязкостно температурные свойства.

Амортизационные жидкости представляют собой маловязкие масла или чаще их смеси.

Наиболее распространенная амортизационная жидкость состоит из турбинного и трансформаторного масел. Она имеет температуру застывания около 30°С.

Для автомобилей, эксплуатируемых в районах с температурой ниже −40°С, в качестве амортизаторной жидкости следует применять приборное масло МВП, имеющее температуру застывания не выше −60°С, и вязкость при 50°С в пределах 6,3—85 с Ст.

В качестве жидкости для амортизаторов могут также применяться масла: веретенное АУ, а в южных районах — веретенное 2.

Тормозные жидкости

Важной особенностью жидкостей для гидравлических приводов тормозов является то, что от их эксплуатационных качеств зависит не только долговечность и надежность работы деталей привода, но и безотказность работы тормозного механизма.

Жидкость для гидравлических приводов тормозов должна отвечать следующим эксплуатационно-техническим требованиям:

- не должна вызывать коррозии металлических деталей, а также разрушения (набухания, разъедания, высыхания) резиновых манжет, клапанов и шлангов гидравлического привода;
- обладать хорошими вязкостно-температурными свойствами, обеспечивая высокую подвижность (прокачиваемость) в холодное зимнее время и отсутствие подтеканий в жаркое летнее время при практических колебаниях температур от −50...−60°С (зимой в северных районах) до 100—110°С (летом на южных горных дорогах);
- иметь температуру кипения выше максимальной температуры нагрева жидкости в тормозном приводе (примерно 120—130°С), чтобы не допустить образования паровых

пробок в гидравлической системе и потерь жидкости вследствие испарения;

- обладать хорошими смазочными свойствами, чтобы обеспечить минимальный износ трущихся деталей привода и минимальные потери энергии на преодоление трения;
- быть стабильной, т. е. не расслаиваться, не выделять каких-либо осадков, не вспениваться и длительно при работе и хранении сохранять неизменными свои физико-химические свойства.

Тормозные жидкости выпускаются трех видов: касторовые, гликолевые и нефтяные.

Касторовая гидротормозная жидкость БСК представляет собой смесь рафинированного касторового масла, бутилового или изобутилового спирта и органического яркого красителя красного цвета. Жидкость окрашена в яркий оранжево-красный цвет. Вязкость жидкости при температуре 50°С составляет 9,4—13,0 с Ст. Применяют жидкость БСК в тормозных системах машин, в которых использованы элементы из немаслостойкой резины. Жидкость БСК рекомендуется использовать всесезонно в средней полосе России при температуре воздуха до —15°С.

Гликолевая тормозная жидкость ГТЖ-22М состоит из смеси гликолей, воды и антикоррозионных присадок. Жидкость ГТЖ-22М окрашена в зеленый цвет. Вязкость жидкости при температуре 50°С колеблется от 7,9 до 8,3 с Ст. Эту жидкость применяют при любых температурных условиях, так как температура потери подвижности жидкости составляет —60°С. Гликолевые тормозные жидкости ядовиты.

Нефтяная тормозная жидкость ГТН — ароматизированные углеводороды типа керосина, загущенные полиизобутаном. Эта жидкость применяется в механизмах с гидроприводами тормозного механизма, снабженными деталями из бензомаслостойкой резины. Нефтяная тормозная жидкость имеет запах, свойственный нефтепродуктам.

Жидкости для гидравлических систем

Для заполнения гидравлической системы подъемных механизмов могут применяться жидкости, которые имеют низкую температуру застывания, необходимую вязкость и отвечают другим требованиям, предъявляемым к смазочным маслам.

В качестве жидкости для гидравлических передач служит масло (ТУ 38-1011792-71), которое вырабатывается двух марок. А — для автоматических коробок передач, Р — для гидроусилителя руля и гидрообъемных передач. В состав масла А входят нефтяная основа селективной очистки с температурой застывания не выше −28°С и загуститель. Масло марки Р готовят на базе масла веретенного АУ, вырабатываемого из малосернистых нефтей, без загустителя и депрессорной присадки.

Масло ЭШ — это высококачественное минеральное масло, загущенное бутилкаучуком (2 %) с добавлением депрессорной присадки АзНИИ (не более 0,5 %). Масло ЭШ применяют в качестве рабочей жидкости в гидравлических системах управления высоконагруженных механизмов.

Масла МГ-20 и *МГ-30* способствуют повышению долговечности машин с гидроусилением.

В качестве рабочей жидкости в амортизаторах с уплотнительными деталями из маслостойкой резины применяют масло МГП-10, а также всесезонную амортизационную жидкость АЖ-12Т.

Жидкости, применяемые в гидравлических системах машин, как правило, горючи, а некоторые из них токсичны и требуют определенных мер предосторожности при эксплуатации и хранении, их нельзя смешивать.

Электролиты

В числе других химических продуктов используются серная и соляная кислоты, каустическая и кальцинированная сода.

Серная кислота (H_2SO_4) используется главным образом для приготовления электролита кислотных аккумуляторов, пред-

ставляющего собой раствор серной кислоты в дистиллированной воде. Причем выпускается специальная серная кислота сорта А и Б, содержащая меньшее количество механических примесей, чем обычная техническая серная кислота.

Техническая серная кислота используется для составления электролита при хромировании и омеднении деталей и др.

Аккумуляторная серная кислота имеет плотность 1,83 г/см^3, а плотность электролита в зависимости от климатической зоны и типа аккумуляторной батареи колеблется от 1,25 до 1,31 г/см^3.

В северных районах содержание кислоты в электролите, а следовательно, и его плотность должны быть более высокими, чем в южных, чтобы не допустить замерзания электролита. Электролит плотностью 1,31 г/см^3 не замерзает даже при температуре −60°С, а при плотности 1,15 г/см^3 замерзает уже при −14°С.

Плотность изменяется с изменением температуры, и путем расчета на основании температурной поправки плотность приводится к 20°С.

Для приготовления электролита нужной плотности в целях большей безопасности рекомендуется вначале крепкую серную кислоту разбавить дистиллированной водой до плотности 1,4 г/см^3, а затем приготовлять из нее электролит. Количество серной кислоты или раствора плотности 1,4 г/см^3, необходимое для приготовления электролита данной плотности при 20°С, можно определить по данным табл. 5.

При приготовлении электролита нужно вливать только кислоту (в том числе и разбавленную) в воду, но не наоборот, так как происходит вскипание воды и разбрызгивание капель горячей кислоты. Попавшую на тело серную кислоту нужно сейчас же смыть большим количеством воды, а затем слабым раствором питьевой соды или нашатырного спирта.

Соляная кислота (HCl) применяется для удаления накипи в системе охлаждения, для травления поверхности деталей перед лужением и пайкой, для приготовления электролита при омеднении и др.

Соляная кислота является раствором хлористого водорода в воде (до 40 % по весу) и представляет собой бесцветную дымящуюся на воздухе (вследствие выделения хлористого водорода)

Таблица 5

Состав электролита

Плотность электролита при 20°С	На 1 л воды добавить серной кислоты плотностью 1,83 г/см³ при 20°С	На 1 л раствора серной кислоты плотностью 1,4 г/см³ при 20°С, добавить воды, л
1,22	0,255	0,820
1,24	0,295	0,670
1,25	0,300	0,600
1,28	0,365	0,430
1,30	0,405	0,330
1,31	0,425	0,290
1,4	0,650	0,000

жидкость. Соляная кислота, применяемая для технических целей, окрашена различными примесями и обычно имеет желтоватый цвет и едкий, удушливый запах. Соляная кислота разрушает металлы. Попадание ее на кожу столь же опасно, как и серной кислоты, поэтому при работе с ней должны соблюдаться те же меры предосторожности.

Каустическая сода (NaOH) или едкий натр используются в виде раствора, главным образом для удаления нагара и грязи с деталей, для их обезвреживания. По внешнему виду каустическая сода представляет собой белое твердое вещество, активно поглощающее из воздуха влагу и углекислый газ. Попадание твердой каустической соды на кожу вызывает сильные ожоги, поэтому при работе с ней нужно находиться в защитных очках, резиновых перчатках и переднике.

Кальцинированная сода (Ca_2CO_3) используется также для очистки деталей, и прежде всего алюминиевых. Чаще всего кальцинированная сода поступает в виде белого порошка, но может поставляться и в виде крупных белых кристаллов.

Контрольные вопросы

1. *Расскажите о назначении и требованиях, предъявляемых к жидкостям для систем охлаждения.*
2. *Расскажите о назначении и требованиях, предъявляемых к тормозным жидкостям.*
3. *Перечислите требования к амортизационным жидкостям.*
4. *Перечислите требования к жидкостям для гидравлических передач.*
5. *Каковы назначение электролитов и требования, предъявляемые к ним? Опишите способ получения электролита необходимой плотности.*

Литература

Арзамасцева Э. А. Обзорная информация. Сер. XI «Технология автомобилестроения. Применение в зарубежном автомобилестроении деталей, изготовленных из металлических порошков». — М.: ЦНИИТЭИавтопром, 1987.

Глинка Н. Г. Общая химия. 18-е изд., испр. — Л.: Химия, 1976.

Иванов В. Н. Словарь-справочник по литейному производству. — М.: Машиностроение, 1990.

Китаисов С. С., Либенсон Г. А. Порошковая металлургия: Учебник для техникумов. 3-е изд., перераб. — М.: Металлургия, 1991.

Козлов Ю. С. Материаловедение. — М.: Агар, 1999.

Колесник П. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учебник для вузов и техникумов. — М.: Транспорт, 1965.

Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. — М.: Металлургия, 1976.

Макиенко Н. И. Слесарное дело с основами материаловедения: Учебник для подготовки рабочих на производстве. 4-е изд. — М.: Высшая школа, 1971.

Могилев В. К., Лев О. И. Справочник литейщика: справочник для профессионального обучения на производстве. — М.: Машиностроение, 1990.

Чумаченко Ю. Т. Материаловедение. — Ростов н/Д: Феникс, 2004.

Пилипенко А. Т., Починок В. Я., Середа И. П., Шевченко Ф. Д. Справочник по элементарной химии. — Киев: Наукова думка, 1985.

Пинчук Л. С., Струк В. А. и др. Материаловедение и конструкционные материалы. — Минск: Вышейшая школа, 1989.

Солнцев Ю. П., Веселов В. А. и др. Металловедение и технология металлов: Учебник для вузов. — М.: Металлургия, 1988.

Фролов В. В. Химия: Учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. — М.: Высшая школа, 1974.

Энциклопедический словарь юного техника / Сост. Б. В. Зубков, С. В. Чумаков. — М.: Педагогика, 1980.

Содержание

Предисловие **3**

Из истории материаловедения **5**

Предмет материаловедения **7**

Тенденции и перспективы развития материаловедения **8**

Раздел 1. **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ** **11**

Глава 1. **Структура материалов** **12**

Атом. Молекула. Химическая связь 12

Фазовое состояние вещества 16

Газ и жидкость 17

Твердое тело 18

Глава 2. **Основные свойства материалов** **21**

Механические свойства 21

Коррозионная стойкость 26

Температурные характеристики 27

Электрические и магнитные свойства 29

Технологические свойства 31

Глава 3. **Области применения материалов** **33**

Классификация материалов 33

Стандартизация материалов 37

Выбор материалов при подготовке производства 39

Экономическая эффективность материалов 43

Производство материалов и экология 45

Раздел 2. **ОСНОВЫ ТЕОРИИ СПЛАВОВ** **49**

Глава 1. **Металлы** **50**

Основные свойства и классификация металлов 50

Атомно-кристаллическое строение металлов 51

Процесс кристаллизации расплавов 53

Полиморфные превращения в металлах 55

Коррозия металлов ... 55

Глава 2. **Сплавы** ... **58**

Общие сведения о сплавах ... 58

Фазы металлических сплавов ... 59

Диаграммы состояния сплавов ... 61

Связь между структурой и свойствами сплавов ... 65

Глава 3. **Сплавы железа с углеродом** ... 67

Железо и его свойства ... 67

Углерод и его свойства ... 68

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов ... 68

Диаграмма состояния железо—цементит ... 69

Сплавы железа с углеродом ... 73

Зависимость свойств железоуглеродистых сплавов от содержания углерода и постоянных примесей ... 73

Влияние легирования на свойства железоуглеродистых сплавов ... 75

Глава 4. **Свойства металлов и сплавов** ... **77**

Физические и химические свойства ... 77

Деформация и разрушение ... 78

Механические свойства ... 80

Технологические и эксплуатационные свойства ... 87

Технологические пробы ... 88

Раздел 3. **МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ** ... **91**

Виды металлургических процессов ... 92

Глава 1. **Чугуны** ... **95**

Производство чугуна ... 95

Классификация чугунов ... 103

Структура и свойства чугуна ... 105

Серый чугун ... 107

Высокопрочный чугун ... 108

Белый и ковкий чугун ... 109

Легированные чугуны ... 111

Глава 2. **Стали** **114**
Производство стали 114
Общая классификация сталей 123
Углеродистые стали 129
Легированные стали 131
Инструментальные стали и твердые сплавы 140
Стали и сплавы со специальными свойствами 143
Глава 3. **Основы термической обработки** **149**
Виды термической обработки стали 150
Фазовые и структурные превращения при термической обработке стали 150
Влияние термической обработки на механические свойства стали 154
Отжиг и нормализация 155
Закалка 158
Отпуск и искусственное старение 161
Термомеханическая и механотермическая обработка 163
Поверхностная закалка 165
Химико-термическая обработка стали 167
Дефекты и брак при термической обработке 172
Глава 4. **Цветные металлы и сплавы** **175**
Производство цветных металлов и сплавов 175
Алюминий и его сплавы 180
Медь и ее сплавы 186
Титан и его сплавы 190
Магний и его сплавы 192
Баббиты и принон 193
Антифрикционные сплавы 196
Металлокерамика 198
Порошковая металлургия 199
Раздел 4. **ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ** **203**
Литейное производство 204
Обработка металлов давлением 207
Сварочное производство 213

Пайка металлов ... 215
Газокислородная резка металлов ... 215
Восстановление и упрочнение деталей наплавкой ... 216
Обработка резанием ... 219

Раздел 5. **НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ** ... **223**

Древесные материалы ... 224
Полимеры и пластические массы ... 227
Электроизоляционные, прокладочные, уплотнительные, обивочные и клеящие материалы ... 248
Каучуки и резиновые материалы ... 253
Лакокрасочные материалы ... 260
Материалы для нанесения покрытий ... 268
Графитоуглеродные материалы ... 275
Абразивные материалы ... 276
Композиционные материалы ... 282

Раздел 6. **ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ** ... **295**

Бензины ... 296
Дизельное топливо ... 299
Сжатые и сжиженные газы ... 301
Моторные и трансмиссионные масла ... 303
Пластичные смазки ... 311
Рабочие жидкости ... 317
Жидкости для системы охлаждения двигателя ... 317
Амортизационные жидкости ... 318
Тормозные жидкости ... 319
Жидкости для гидравлических систем ... 321
Электролиты ... 321

Литература ... 325

Вишневецкий Юрий Тимофеевич

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
для технических колледжей

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.02.953.Д 004609.07 04 от 13 07 2004

Лицензия ИД № 06472 от 19 декабря 2001 г.
Подписано в печать 10.01 2006. Формат 60×84 1/16.
Печать офсетная. Бумага газетная
Печ. л. 20,75. Тираж 2000 экз. Заказ 4010.

Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°».
129347, Москва, Ярославское ш., д. 142, к. 732.
Для писем: 129347, Москва, п/о И-347
Тел./факс: (095) 183-93-01, 182-11-79, 182-01-58
E-mail: sales@dashkov.ru – отдел продаж
ivc.market@telcom.ru
office@dashkov.ru – офис
http://www.dashkov.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВИНИТИ»,
140010, г. Люберцы Московской обл., Октябрьский пр-т, 403.
Тел. 554-21-86