

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Бутакова Оксана Стефановна  
Должность: директор  
Дата подписания: 27.10.2024 12:37:27  
Уникальный программный ключ:  
92ebe478f3654efe030354ec9c160360cb17a169

Министерство образования и науки Республики Саха (Якутия)  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Республики Саха (Якутия) «Ленский технологический техникум»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**  
Дисциплина: ОП.01 Материаловедение  
Профессия: 15.01.35 Мастер слесарных работ

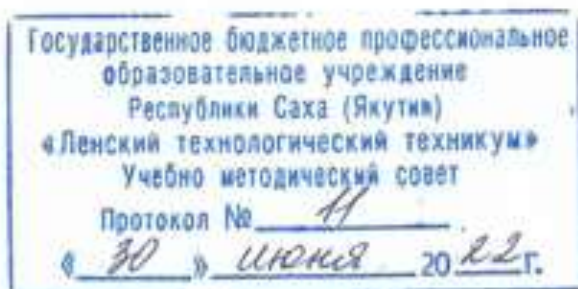
Ленск, 2022

Методические рекомендации по выполнению практических занятий составлены на основе требований Федерального государственного образовательного стандарта по профессии среднего профессионального образования **15.01.35 Мастер слесарных работ** к содержанию и уровню подготовки выпускника в соответствии учебным планом и рабочей программой дисциплины ОП.01 «Материаловедение», утвержденных ГБПОУ РС (Я) «Ленский технологический техникум».

## РЕКОМЕНДОВАНО

Учебно-методическим советом

ГБПОУ РС (Я) «Ленский технологический техникум»




## РАССМОТРЕНО

на заседании ПЦК «Общепрофессиональных дисциплин»

Протокол № 11 «29» июня 2022 г.,

Председатель ПЦК

 /Паршутина И.Л./  
(подпись)

Автор: Евстафьев А.Е., мастер п/о ГБПОУ РС(Я) «Ленский технологический техникум».

## Оглавление

Введение.....	4
Методические указания к выполнению практической работы для студентов.....	4
Система оценивания практических работ.....	4
Практическая работа №1 .....	6
Экскурсия в Ленские авторемонтные мастерские. ....	6
Практическая работа №2 .....	9
Тема 1.2. Структура материалов .....	9
Практическая работа № 3 .....	15
Тема 1.3. Основные свойства материалов .....	15
Практическая работа №4: .....	22
Тема 1.3. Основные свойства материалов .....	22
Практическая работа №5 .....	26
Тема 2.1. Основные свойства и классификация металлов .....	26
Практическая работа №6 .....	31
Тема 2. 3. Свойства металлов и сплавов .....	31
Практическая работа №7 .....	39
Тема 2. 3. Свойства металлов и сплавов .....	39
Практическое работа № 8 .....	41
Тема 2.4 Сплавы железа с углеродом.....	41
Практическая работа № 9 .....	47
Тема 2.5. Основы термической обработки .....	47
Практическая работа № 10 .....	53
Тема 2.6. Технология термической обработки стали .....	53
Практическая работа № 11 .....	66
Тема 3.1. Основные свойства и классификация чугунов .....	66
Практическая работа № 12 .....	74
Тема 3.2. Основные свойства и классификация стали.....	74
Практическая работа № 13 .....	94
Тема 3.3. Цветные металлы и сплавы.....	94
Практическая работа 14 .....	101
Тема 3.4. Неметаллические материалы.....	101
<b>Информационное обеспечение обучения .....</b>	<b>113</b>

## Введение

Методические рекомендации по выполнению практических работ по ОП.01 Материаловедение составлены для студентов профессии 15.01.35 Мастер слесарных работ в соответствии с программой учебной дисциплины ОП.07 Охрана труда. В основу методической разработки для проведения практических работ положен принцип развивающего обучения.

Выполнение практических работ позволяет студентам закрепить знания, полученные на занятиях, получить навыки и умения работы с справочным материалом. А также приобрести опыт практической деятельности, опыт познания и самопознания в процессе изучения дисциплины.

Практические работы реализуются с учетом возможностей образовательного учреждения.

Результатом проверки уровня усвоения учебного материала является отметка. При оценке знаний студентов преподаватель обращает внимание на правильность, осознанность, логичность и доказательность в изложении материала, точность использования терминологии, самостоятельность ответа. Оценка знаний предполагает учёт индивидуальных особенностей студентов, дифференцированный подход к организации работы в группе.

### **Методические указания к выполнению практической работы для студентов**

К выполнению практической работы необходимо подготовиться до начала занятия, используя рекомендованную литературу и конспекты лекций.

Студенты обязаны иметь при себе линейку, карандаш, циркуль, тетрадь для практических работ.

Отчеты по практическим работам должны включать в себя следующие пункты:

- название практической работы и ее цель;

- краткий порядок выполнения работы;

далее пишется «Ход работы» и выполняются этапы практической работы, согласно указанному в работе порядку.

При подготовке к сдаче практической работы, необходимо ответить на предложенные контрольные вопросы.

Если отчет по работе не сдан вовремя (до выполнения следующей работы) по неуважительной причине, оценка за работу снижается.

### **Система оценивания практических работ**

**Отметка "5"** Практическая работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности. Студенты работали полностью самостоятельно: подобрали необходимые для выполнения предлагаемых работ источники знаний, показали необходимые для проведения практических работ теоретические знания, практические умения и навыки. Работа оформлена аккуратно, в оптимальной для фиксации результатов форме.

**Отметка "4"** Практическая работа выполнена студентами в полном объеме и самостоятельно. Допускается отклонение от необходимой последовательности выполнения, не влияющее на правильность конечного результата (перестановка пунктов типового плана при характеристике отдельных территорий или стран и т.д.). Использованы указанные преподавателем источники знаний, включая пункты инструкций, таблицы и графики из приложения к учебнику. Работа показала знание основного теоретического материала и овладение умениями, необходимыми для самостоятельного выполнения работы. Допускаются неточности и небрежность в оформлении результатов работы.

**Отметка "3"** Практическая работа выполнена и оформлена студентами с помощью преподавателя или хорошо подготовленных и уже выполнивших на "отлично" данную работу студентами. На выполнение работы затрачено много времени (можно дать возможность доделать работу дома). Студенты показали знания теоретического материала, но испытывали затруднения при самостоятельной работе со справочным материалом.

**Отметка "2"** Выставляется в том случае, когда студенты оказались не подготовленными к выполнению этой работы. Полученные результаты не позволяют сделать правильных выводов и полностью расходятся с поставленной целью. Обнаружено плохое знание теоретического материала и отсутствие необходимых умений. Руководство и помощь со

стороны преподавателя и хорошо подготовленных студентов неэффективны из-за плохой подготовки студентов.

**В процессе проведения практических работ реализуются** достижение студентами следующих **результатов:**

**умения:**

- выполнять механические испытания образцов материалов;
- использовать физико-химические методы исследования металлов;
- пользоваться справочными таблицами для определения свойств материалов;
- выбирать материалы для осуществления профессиональной деятельности.

**В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен знать:**

- область применения, основные свойства и классификацию материалов, используемых в профессиональной деятельности;
- область применения, основные свойства, классификацию, наименование, маркировки металлов и сплавов;
- основные сведения и классификацию неметаллических материалов: конструкционных и специальных;
- материалов неорганического и органического происхождения.

**Практическая работа №1**  
**Экскурсия в Ленские авторемонтные мастерские.**  
**Составление отчета по обработке материалов.**

**Цель работы:** Ознакомление с процессами обработки и приборами контроля материалов.

**Ход работы:**

1. Изучить теоретический материал.
2. Посетить с экскурсией Ленские авторемонтные мастерские
3. Ознакомиться с технологическими процессами обработки материалов (черные металлы, цветные металлы, РТИ, полимеры)
4. Составить отчет по предложенной схеме и в ходе работы ответить на следующие вопросы:
  - какие процессы были показаны на предприятии?
  - какие материалы подвергались обработке?
  - как называлось оборудование, на котором осуществлялись процессы обработки и контроля материалов?

**Вывод:** Какой процесс (на Ваш взгляд) будет востребован в будущем, а какой отойдет как ненужный.

Тема 1. 1.

**Предмет материаловедения**

**1. Содержание учебной дисциплины, цели, задачи. Определение материалов, разновидности материалов: сырье, полуфабрикат**

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 ит. д.).

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

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

## **2. Исторические аспекты материаловедения. Научные исследования и открытия в области материаловедения (металловедения)**

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 меднокаменным, 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 XX в. материаловедение стало прикладной наукой.

Научные исследования и открытия в области химии и металлургии 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 металлургии быстро растет число сплавов, обладающих специфическими свойствами: противокоррозионными, жаростойкими и жаропрочными, особыми магнитными, «памятью» механической формы ит. 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.

XX 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.

***3. Тенденции и перспективы развития материаловедения. Использование традиционных материалов на новом технологическом уровне.***

### **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, обуславливает 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.

## **Практическая работа №2** **Тема 1.2. Структура материалов**

**Тест:** по теме «Структура материалов».

**Цель:** контроль знаний по теме структура материалов.

**Ход занятия:**

- повторить пройденный материал и выполнить тестовое задание

### ***1. Определение структуры материалов. Три уровня строения материалов принятых в материаловедении***

#### **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.**

### ***2. Структура вещества: атом, молекула, химическая связь, металлическая связь***

#### **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 электро-статического 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.

### **3. Фазовое состояние вещества: однофазная система, двухфазная система**

#### **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 равновесным.

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 свойства 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.).

#### ***4. Агрегатное состояние вещества: твердое, жидкое, газообразное***

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**.

#### ***5. Газ и жидкость: характеристика состояния вещества***

##### **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. При достаточно 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, а жидкость превращается в твердое тело.

#### ***6. Твердое вещество: кристаллическое и аморфное состояние. Молекулярная, атомная, ионная, металлическая решетки***

##### **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 обуславливает 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.

**Тест:** по теме «Структура материалов».

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_

### 1. Для кристаллического состояния вещества характерны:

- а) высокая электропроводность;
- б) анизотропия свойств;
- в) высокая пластичность;
- г) коррозионная устойчивость.

**2. Твердое тело, представляющее собой совокупность неориентированных относительно друг друга зерен-кристаллитов, представляет собой:**

- а) текстуру;
- б) поликристалл;
- в) монокристалл;
- г) композицию.

**3. Кристалл формируется путем правильного повторения микрочастиц (атомов, ионов, молекул) только по одной координате:**

- а) верно;
- б) верно только для монокристаллов;
- в) неверно;
- г) верно только для поликристаллов.

**4. Для аморфных материалов характерно:**

- а) наличие фиксированной точки плавления;
- б) наличие температурного интервала плавления;
- в) отсутствие способности к расплавлению.

**5. Вещество, состоящее из атомов одного химического элемента, называется:**

- а) химически чистым;
- б) химически простым;
- в) химическим соединением.

**6. Вещество, состоящее из однородных атомов или молекул, и содержащее некоторое количество другого вещества, не превышающее заданного значения, называется:**

- а) химически чистым;
- б) химически простым;
- в) химическим соединением.

**7. Укажите виды точечных статических дефектов кристаллической структуры:**

- а) дислокации;
- б) вакансии;
- в) фононы;
- г) междоузлия.

**8. Укажите основные характеристики структуры материала:**

- а) концентрация носителей заряда;
- б) степень упорядоченности расположения микрочастиц;
- в) наличие и концентрация дефектов;
- г) электропроводность.

**9. Способность некоторых твердых веществ образовывать несколько типов кристаллических структур, устойчивых при различных температурах и давлениях, называется:**

- а) полиморфизмом;
- б) поляризацией;
- в) анизотопией;
- г) изотропией.

**10. Укажите тип химической связи, который обеспечивает максимальную концентрацию носителей заряда без приложения внешних энергетических воздействий:**

- а) ионная;
- б) ковалентная;
- в) металлическая;
- г) водородная

**Оценка:** \_\_\_\_\_

**Дата проверки:** \_\_\_\_\_

**Подпись преподавателя:** \_\_\_\_\_

**Практическая работа № 3**  
**Тема 1.3. Основные свойства материалов**  
**Тест: «Коррозия металлов, методы защиты от коррозии»**

**Цель:**

- изучить особенности процесса коррозии металлов, методы и средства защиты от коррозии.  
Контроль знаний по теме.

**Ход занятия:**

- изучить теоретический материал;
- изучить учебную литературу по теме занятия;
- выполнить тестовое задание.

**Основные свойства материалов**

*1. Механические свойства материалов: основные показатели - прочность, твердость, триботехнические характеристики*

**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).

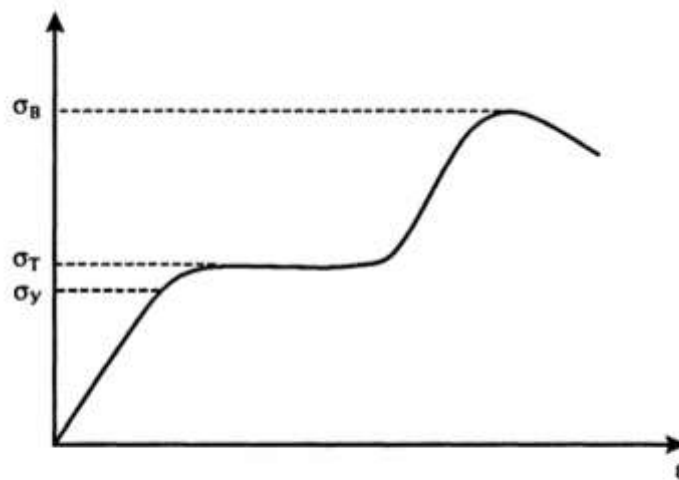
**Прочность** — свойство материалов сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы под действием внешних нагрузок. Она обусловлена силами взаимодействия атомных частиц, составляющих материал.

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).



**Рис. 1.** Зависимость нормального напряжения  $\sigma$  в образце от его относительного удлинения  $\epsilon$  при растяжении:  
 $\sigma_y$  — предел упругости;  $\sigma_T$  — предел текучести;  
 $\sigma_B$  — предел прочности (временное сопротивление)

**Предел упругости** — напряжение, при котором остаточные деформации (т. е. деформации, обнаруживаемые при разгрузке образца) достигают значения, установленного техническими условиями. Предел упругости  $\sigma_y$  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.

**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  $\sigma_B$ .

**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 разрастанию 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 конструктивных 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 будет дано на следующих лекциях, 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 обуславливает 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.

## **2. Коррозийная стойкость. Коррозийное повреждение. Электрохимическая коррозия. Причины возникновения коррозии. Методы защиты**

### **Коррозионная стойкость**

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

#### **Что такое коррозия и её разновидности**

Основной причиной интенсивного окисления поверхности металлов (что и является основной причиной коррозии) являются:

1. Повышенная влажность окружающей среды.
2. Наличие блуждающих токов.
3. Неблагоприятный состав атмосферы.

Соответственно этому различают химическую, трибохимическую и электрохимическую природу коррозии. Именно они в совокупности своего влияния и разрушают основную массу металла.

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.

#### **Химическая коррозия**

Такой вид коррозии обусловлен активным окислением поверхности металла во влажной среде. Безусловным лидером тут является сталь (исключая нержавеющую). Железо, являясь основным компонентом стали, при взаимодействии с кислородом образует три вида окислов: FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Основная неприятность заключается в том, что определённому диапазону внешних температур соответствует свой окисел, поэтому практическая защита стали от коррозии наблюдается только при температурах выше 1000С, когда толстая плёнка высокотемпературного оксида FeO сама начинает предохранять металл от последующего образования ржавчины. Это процесс называется воронением, и активно применяется в технике для защиты поверхности стальных изделий. Но это — частный случай, и таким способом активно защищать металл от коррозии в большинстве случаев невозможно.

**Химическая коррозия** активизируется при повышенных температурах. Склонность металлов к химическому окислению определяется значением их кислородного потенциала — способности к участию в окислительно-восстановительных реакциях. Сталь — ещё не самый худший вариант: интенсивнее её окисляются, в частности, свинец, кобальт, никель.

**Электрохимическая коррозия** — процесс взаимодействия материалов и окружающей среды посредством электродных реакций. Металлы наиболее подвержены этому виду коррозии вследствие высокой электрической проводимости и химической активности. Эта разновидность коррозии более коварна: разрушение металла в данном случае происходит при совокупном влиянии воды и почвы на стальную поверхность (например, подземных трубопроводов). Влажный грунт, являясь слабощелочной средой, способствует образованию и перемещению в почве блуждающих электрических токов.

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.

### **Трибохимическая коррозия**

Данному виду подвержены металлообрабатывающие инструменты, которые работают в режимах повышенных температур и давлений. Антикоррозионное покрытие резцов, пуансонов, фильер и пр. невозможно, поскольку от детали требуется высокая поверхностная твердость. Между тем, при скоростном резании, холодном прессовании и других энергоёмких процессах обработки металлов начинают происходить механохимические реакции, интенсивность которых возрастает с увеличением температуры на контактной поверхности «инструмент-заготовка». Образующаяся при этом окись железа  $Fe_2O_3$  отличается повышенной твердостью, и поэтому начинает интенсивно разрушать поверхность инструмента.

**Противокоррозионная защита** — это изменение коррозионной системы, ведущее к снижению скорости коррозии материала.

### **Методы борьбы с коррозией**

Выбор подходящего способа защиты поверхности от образования ржавчины определяется условиями, в которых работает данная деталь или конструкция. Наиболее эффективны следующие методы:

- Нанесение поверхностных атмосферостойких покрытий;
- Поверхностная металлизация;
- Легирование металла элементами, обладающими большей стойкостью к участию в окислительно-восстановительных реакциях;
- Изменение химического состава окружающей среды.

### **Механические поверхностные покрытия**

**Поверхностная защита** металла может быть выполнена его окрашиванием либо нанесением поверхностных плёнок, по своему составу нейтральных к воздействию кислорода. В быту, а также при обработке сравнительно больших площадей (главным образом, подземных трубопроводов) применяется окраска. Среди наиболее стойких красок — эмали и краски, содержащие алюминий. В первом случае эффект достигается перекрытием доступа кислороду к стальной поверхности, а во втором — нанесением алюминия на поверхность, который, являясь химически инертным металлом, предохраняет сталь от коррозионного разрушения.

Положительными особенностями данного способа защиты являются лёгкость его реализации и сравнительно небольшие финансовые затраты, поскольку процесс достаточно просто механизуется. Вместе с тем долговечность такого способа защиты невелика, поскольку, не обладая большой степенью сродства с основным металлом, такие покрытия через некоторое время начинают механически разрушаться.

### **Химические поверхностные покрытия**

Коррозионная защита в данном случае происходит вследствие образования на поверхности обрабатываемого металла химической плёнки, состоящей из компонентов, стойких к воздействию кислорода, давлений, температур и влажности. Например, углеродистые стали обрабатывают фосфатированием. Процесс может выполняться как в холодном, так и в

горячем состоянии, и заключается в формировании на поверхности металла слоя из фосфатных солей марганца и цинка. Аналогом фосфатированию выступает оксалатирование – процесс обработки металла солями щавелевой кислоты. Применением именно таких технологий повышают стойкость металлов от трибохимической коррозии.

Недостатком данных методов является трудоёмкость и сложность их применения, требующая наличия специального оборудования. Кроме того, конечная поверхность изменяет свой цвет, что не всегда приемлемо по эстетическим соображениям.

#### **Легирование и металлизация**

В отличие от предыдущих способов, здесь конечным результатом является образование слоя металла, химически инертного к воздействию кислорода. К числу таких металлов относятся те, которые на линии кислородной активности находятся возможно дальше от водорода. По мере возрастания эффективности этот ряд выглядит так: хром→медь→цинк→серебро→алюминий→платина. Различие в технологиях получения таких антикоррозионных слоёв состоит в способе их нанесения. При металлизации на поверхность направляется ионизированный дуговой поток мелкодисперсного напыляемого металла, а легирование реализуется в процессе выплавки металла, как следствие протекания металлургических реакций между основным металлом и вводимыми легирующими добавками.

#### **Изменение состава окружающей среды**

В некоторых случаях существенного снижения коррозии удаётся добиться изменением состава атмосферы, в которой работает защищаемая металлоконструкция. Это может быть вакуумирование (для сравнительно небольших объектов), или работа в среде инертных газов (аргон, неон, ксенон). Данный метод весьма эффективен, однако требует дополнительного оборудования - защитных камер, костюмов для обслуживающего персонала и т.д. Используется он главным образом, в научно-исследовательских лабораториях и опытных производствах, где специально поддерживается необходимый микроклимат.

#### **Кто нам мешает, тот нам поможет**

В завершение укажем и на довольно необычный способ коррозионной защиты: с помощью самих окислов железа, точнее, одного из них - закиси-окиси  $Fe_3O_4$ . Данное вещество образуется при температурах 250...5000С и по своим механическим свойствам представляет собой высоковязкую технологическую смазку. Присутствуя на поверхности заготовки,  $Fe_3O_4$  перекрывает доступ кислороду воздуха при полугорячей деформации металлов и сплавов, и тем самым блокирует процесс зарождения трибохимической коррозии. Это явление используется при скоростной высадке труднодеформируемых металлов и сплавов. Эффективность данного способа обусловлена тем, что при каждом технологическом цикле контактные поверхности обновляются, а потому стабильность процесса регулируется автоматически.

**Тест:** по теме «Коррозия металлов, методы защиты от коррозии».

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_

**Вопрос 1:** Какие причины обуславливают появление ржавчины?

#### **Варианты ответов**

- а) Окисление в присутствии влаги
- б) Взаимодействие с угарным газом
- в) Взаимодействие с азотом

**Вопрос 2:** Какие металлы не корродируют из-за своей инертности?

**Варианты ответов**

- а) Благородные
- б) Медные сплавы
- в) Железные сплавы

**Вопрос 3:** Что может явится причиной появления коррозии в металле?

**Варианты ответов**

- а) Неоднородность состава
- б) Низкая температура плавления
- в) Структура кристаллической решетки

**Вопрос 4:** Какой металл будет корродировать, если в раствор электролита опустить железо и медь?

**Варианты ответов**

- а) Медь
- б) Железо
- в) медь, и железо

**Вопрос 5:** Какие легирующие добавки защищают металл от коррозии?

**Варианты ответов**

- а) Хром, марганец, никель
- б) Хром, марганец, олово
- в) Цинк, марганец, никель

**Вопрос 6:** Как называется вещество, которое замедляет процесс коррозии?

**Варианты ответов**

- а) Ингибитор
- б) Катализатор
- в) Ферментер

**Вопрос 7:** Чем покрывают железо при лужении?

**Варианты ответов**

- а) Цинком
- б) Магнием
- в) Оловом

**Вопрос 8:** Какие виды коррозий вы знаете?

**Варианты ответов**

- а) физическая, электрофизическая, электронная.
- б) химическая, электрохимическая, трибохимическая.
- в) физическая, кислородная, мелкодисперсная

**Вопрос 9:** Какие методы борьбы с коррозией вы знаете?

**Варианты ответов**

- а) нанесение поверхностных атмосферостойких покрытий;
- б) поверхностная металлизация;
- в) легирование металла;
- г) изменение химического состава окружающей среды

**Вопрос 10:** Как активизируется химическая коррозия?

**Варианты ответов**

- а) при повышенных температурах;
- б) при пониженных температурах;
- в) при повышенном давлении;
- г) при пониженном давлении.

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата проверки: \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя: \_\_\_\_\_

**Практическая работа №4:**  
**Тема 1.3. Основные свойства материалов**  
Тест «Свойства металлов»

**Цель:**

- изучить свойства материалов. Контроль знаний по теме.

**Ход занятия:**

- изучить теоретический материал;
- изучить учебную литературу по теме занятия;
- выполнить тестовое задание.

**3. Температурные характеристики: жаростойкость, жароупорность, жаропрочность, хладноломкость, теплопроводность и др.**

**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 характеристик 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  $-50^{\circ}\text{C}$ ) 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 обуславливает выравнивание температуры изделия.

*Коэффициент теплопроводности* является мерой теплоизоляционных свойств материала.

#### 4. Электрические и магнитные свойства материалов

##### 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.

## **5. Технологические свойства материалов: обрабатываемость, литейные характеристики, свариваемость**

### **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.

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.

Тест «Свойства металлов»

Группа \_\_\_\_\_



**1. Способностью сопротивляться внедрению в поверхностный слой другого более твердого тела обладают:**

- а) хрупкие материалы;
- б) твердые материалы;
- в) пластичные материалы;
- г) упругие материалы.

**2. Свойства материалов, характеризующие их поведение при обработке, называются:**

- а) эксплуатационными;
- б) технологическими;
- в) потребительскими;
- г) механическими.

**3. К теплофизическим свойствам материалов относятся:**

- а) теплопроводность;
- б) электропроводность;
- в) тепловое расширение;
- г) светопропускание.

**4. Проявлением какого вида свойств материалов является стойкость к термоударам:**

- а) механических;
- б) химических;
- в) теплофизических;
- г) химических.

**5. Деформируемость является одним из:**

- а) эксплуатационных свойств;
- б) технологических свойств;
- в) потребительских свойств.

**6. Потребительскими называют свойства материалов:**

- а) определяющие их пригодность для создания изделий заданного качества;
- б) характеризующие их поведение при обработке;
- в) характеризующие их применимость в данной эксплуатационной области.

**7. Укажите стадии реакции хрупких материалов на нагружение:**

- а) упругая деформация;
- б) пластическая деформация;
- в) разрушение.

**8. Нагревостойкость – это:**

- а) способность хрупких материалов выдерживать без разрушения резкие смены температуры;
- б) способность материалов сохранять без изменения химический состав и структуру молекул при повышении температуры;
- в) способность материалов отводить тепло, выделяющееся при работе электронного компонента.

**9. Магнитные свойства материалов обусловлены:**

- а) вращением электронов вокруг собственной оси;
- б) взаимным притяжением ядра атома и электронов;
- в) орбитальным вращением электронов.

**10. Самопроизвольное разрушение твердых материалов, вызванное химическими или электрохимическими процессами, развивающимися на их поверхности при взаимодействии с внешней средой, называется:**

- а) коррозией;
- б) диффузией;
- в) эрозией;
- г) адгезией.

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата проверки: \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя: \_\_\_\_\_

## Раздел 2. Металлы и сплавы

### Практическая работа №5

#### Тема 2.1. Основные свойства и классификация металлов

Таблица «Кристаллическое строение металлов»

**Цель:** Обобщение знаний о кристаллическом строении металлов.

**Ход работы:**

- изучить теоретическую часть;
- изучить учебную литературу по теме занятия;
- заполнить таблицу по теме «Кристаллическое строение металлов»

*1. Металлическое состояние вещества: характерные свойства. Классификация черных и цветных металлов.*

### 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, электро-сопротивление 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;

— **и цветные** — все остальные.

Цветные металлы по разным признакам делятся на подгруппы:

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

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

— **тугоплавкие**, температура плавления которых выше, чем у

железа (ниобий, молибден, вольфрам и др.);  
— **легкоплавкие** (цезий, галлий, калий, натрий, олово, свинец и др.);  
— **редкие** (молибден, вольфрам, ванадий и др.);  
— **благородные** (золото, серебро, платина, палладий и др.);  
и другие.

## **2. Атомно-кристаллическое строение металлов. Кристаллическая решетка.**

### **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 узлах ячейки и один атом — в центре объема куба (рис. 4, а). Кубическую объемно-центрированную решетку имеют металлы:  $\alpha$ -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:  $\gamma$ -железо, никель, медь, золото и др.

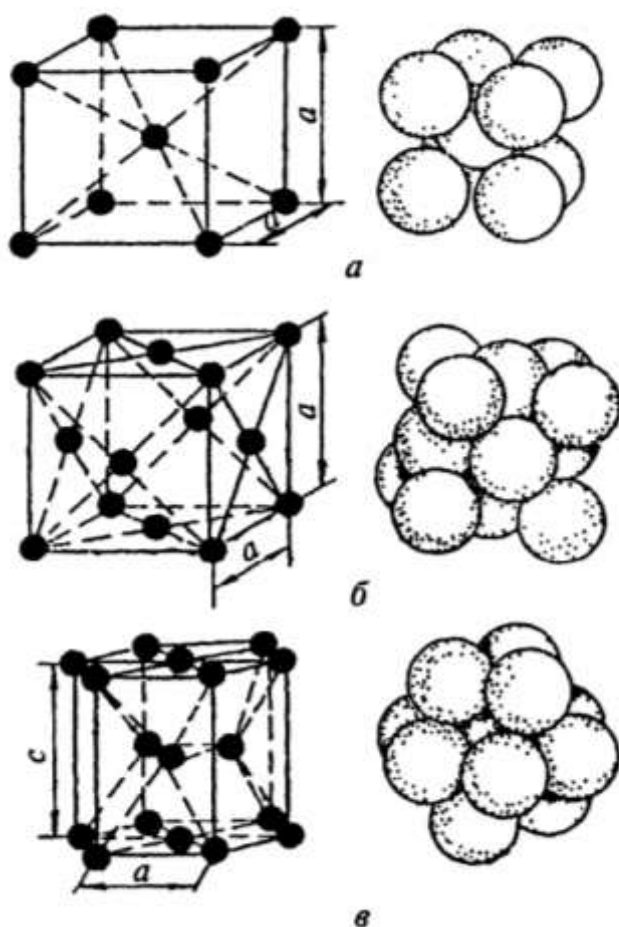


Рис. 1. Кристаллические решетки металлов и схемы упаковки атомов:  
 а — объемно-центрированная кубическая (о. ц. к.);  
 б — гранецентрированная кубическая (г. ц. к.);  
 в — гексагональная плотноупакованная (г. п. у.)

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 ( $\text{Å}$ ).

Период решетки металлов находится в пределах от 1 до  $7 \text{ Å}$ .

### 3. Процесс кристаллизации расплавов металлов. Улучшение механических свойств металлов

#### 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  $T_n$ , при которой жидкая и твердая фазы могут сосуществовать одновременно и притом бесконечно долго. Разность между температурами  $T_n$  и

$T_k$  при которых может протекать процесс кристаллизации, носит название степени переохлаждения:

$$\Delta T = T_n - T_k$$

При переохлаждении сплава ниже температуры  $T_{nl}$  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  $\Delta T$  (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 разлива жидкого металла;
- химический состав и особенно присутствие в металле посторонних примесей.

В технических металлах всегда присутствует большое количество различных примесей (окислов, неметаллических включений ит. 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, вызывают 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  $\alpha$ , при более высокой —  $\beta$ , затем —  $\gamma$  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.

### Контрольные вопросы

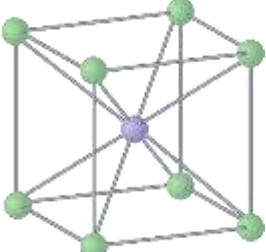
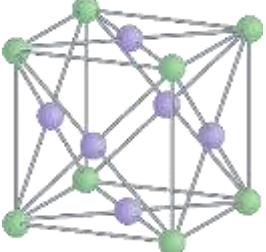
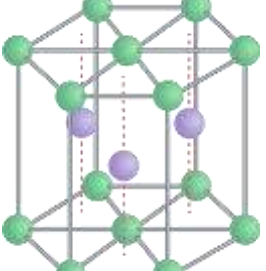
1. Назовите основные свойства металлов.
2. Что называется кристаллизацией расплавов?
3. Назовите основные виды коррозии металлов.

### Таблица « Кристаллическое строение металлов»

**Задание:** Заполнить таблицу.

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_

Вид кристаллической решетки	Название кристаллической решетки	Описание кристаллической решетки	Каким металлам характерен данный вид кристаллической решетки.
			
			
			

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата проверки: \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя: \_\_\_\_\_

**Практическая работа №6**  
**Тема 2. 3. Свойства металлов и сплавов**  
Кроссворд по теме «Свойства металлов и сплавов»

**Цель работы:** Повторить теоретический материал по свойствам металлов и сплавов. Обобщение знаний по теме «Свойства металлов и сплавов».

**Тема 2. 3.**  
**Свойства металлов и сплавов**

**1. Физические и химические свойства металлов и сплавов**

**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<sup>3</sup>;  
— **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  $\rho$  понимают сопротивление проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup>;

— **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 нагреваемых деталей автомобилей (выпускные коллекторы, глушители).

**2. Деформация и разрушение. Характер действующей нагрузки. Основные виды деформации**

**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).

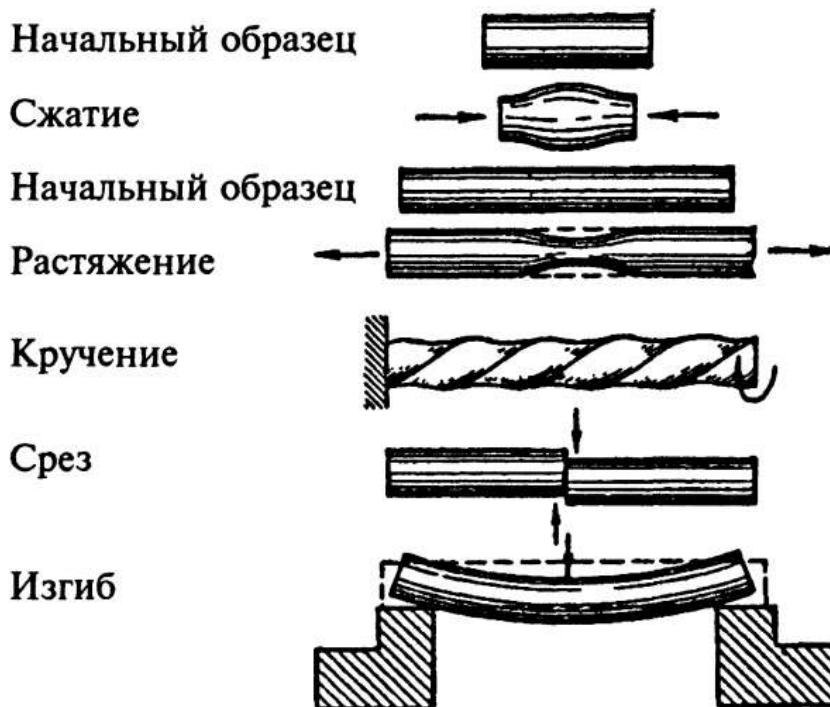


Рис. 9. Основные виды деформации

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

**Растяжение** — это деформация, характеризующаяся 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, коробки 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.

### 3. Основные характеристики механических свойств металлов и сплавов. Испытание на растяжение



## 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 изготавливают 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  $R_B$ , когда образец металла начинает сужаться (образуется шейка), называется нагрузкой предела прочности при растяжении, а напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, называется пределом прочности при растяжении —  $\sigma_B$  и определяется как отношение наибольшей нагрузки  $R_B$  к первоначальной площади поперечного сечения образца  $F_0$ , т. е.

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

где  $R_B$  — наибольшая нагрузка, при которой образец разрушается, кг;  $F_0$  — площадь поперечного сечения образца до разрыва, мм<sup>2</sup>.

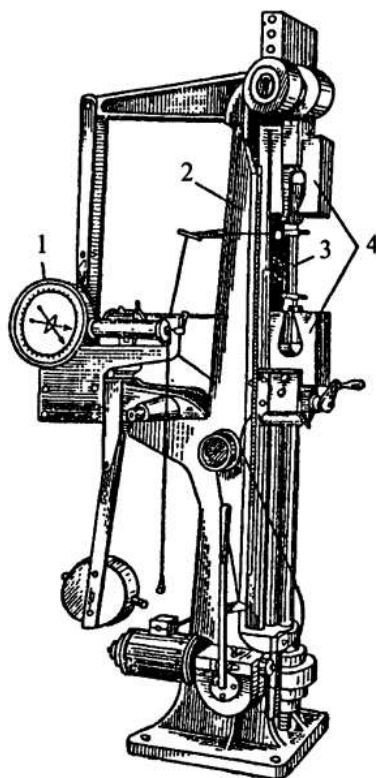


Рис. 10. Разрывная машина:

1 — шкала самописца; 2 — станина; 3 — образец; 4 — верхний и нижний захваты

**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**  $\delta$  (дельта) 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**  $\psi$  — 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<sup>2</sup>;  $F_1$  — площадь поперечного сечения в месте разрыва образца после испытания, мм<sup>2</sup>.

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

Для испытания материала на ударную вязкость изготавливают 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.

#### ***4. Определение твердости металлов методами Бринелля, Роквелла, Виккерса***

**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, износостойчивость.

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).

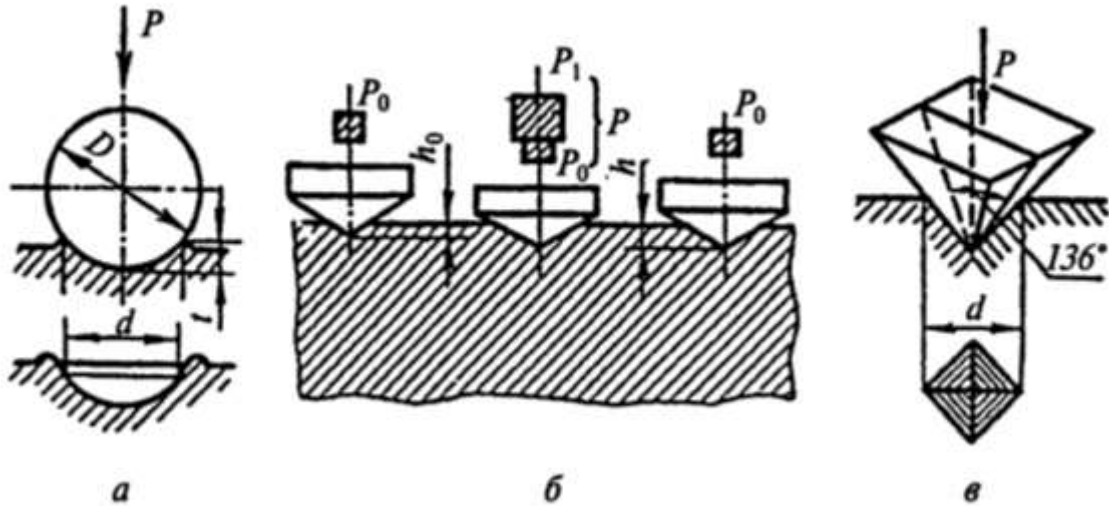


Рис. 11. Определение твердости металлов методами: Бринелля (а), Роквелла (б), Виккерса (в)

**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 столик, который подводят к шпинделю вращением маховика.

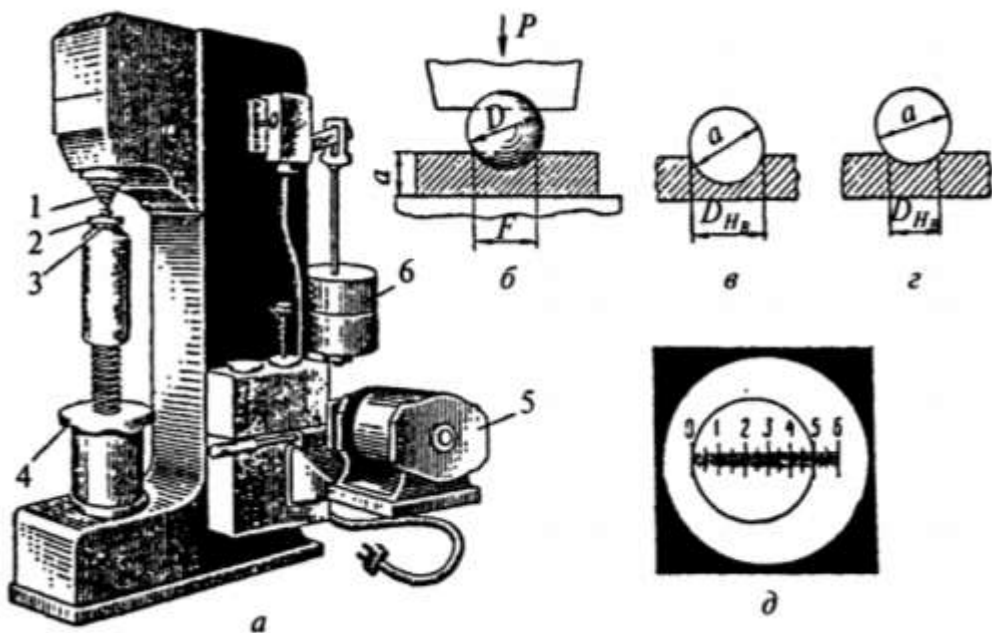


Рис. 12. Определение твердости металла по Бринеллю:

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

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 НВ и определяется как отношение нагрузки  $P$  (кг), приходящейся на  $1 \text{ мм}^2$  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).

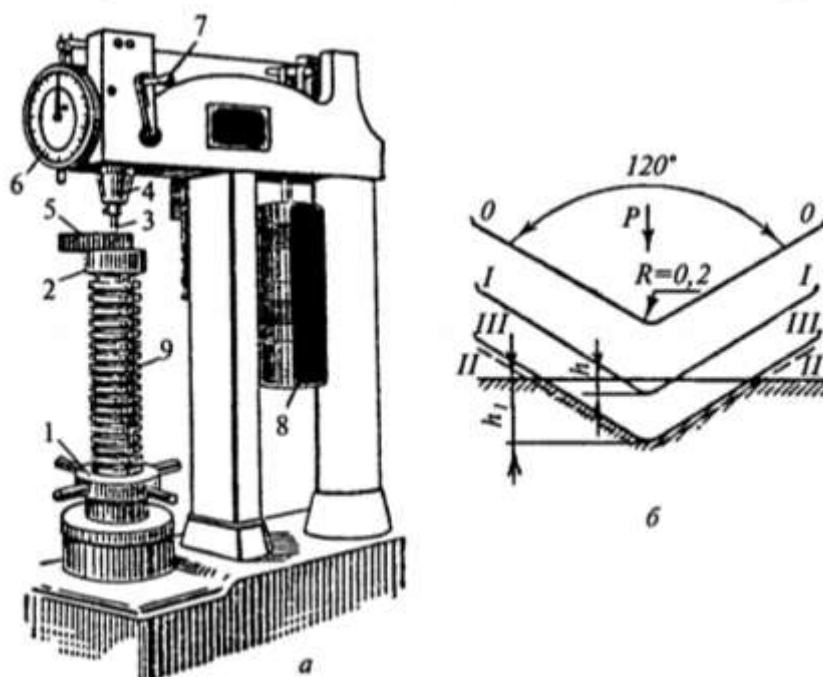


Рис. 13. Определение твердости металла по Роквеллу:

а — прибор ТР; б — схема испытания вдавливанием алмазного конуса; 1 — маховик; 2 — столик; 3 — алмазный конус; 4 — шпindelь; 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

Алмазный конус (или стальной шарик) вдавливаются в испытуемый образец под действием двух последовательно прилагаемых 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 А, В и С циферблата индикатора (без измерения отпечатка и математических расчетов).

При измерении твердости стандартной нагрузкой 150 кг значение твердости НR отсчитывается по шкале С индикатора, к обозначению твердости добавляется индекс шкалы, т. е. НR<sub>С</sub>.

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<sub>A</sub>.

При измерении твердости мягких металлов стальным шариком со стандартной нагрузкой 100 кг отсчет ведется по шкале В и к обозначению твердости добавляется индекс данной шкалы, т.е. HR<sub>B</sub>.

**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 Р в кг, создаваемой прибором, к площади отпечатка F в мм<sup>2</sup>, 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.

#### **5. Технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов**

### **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 производятся 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.

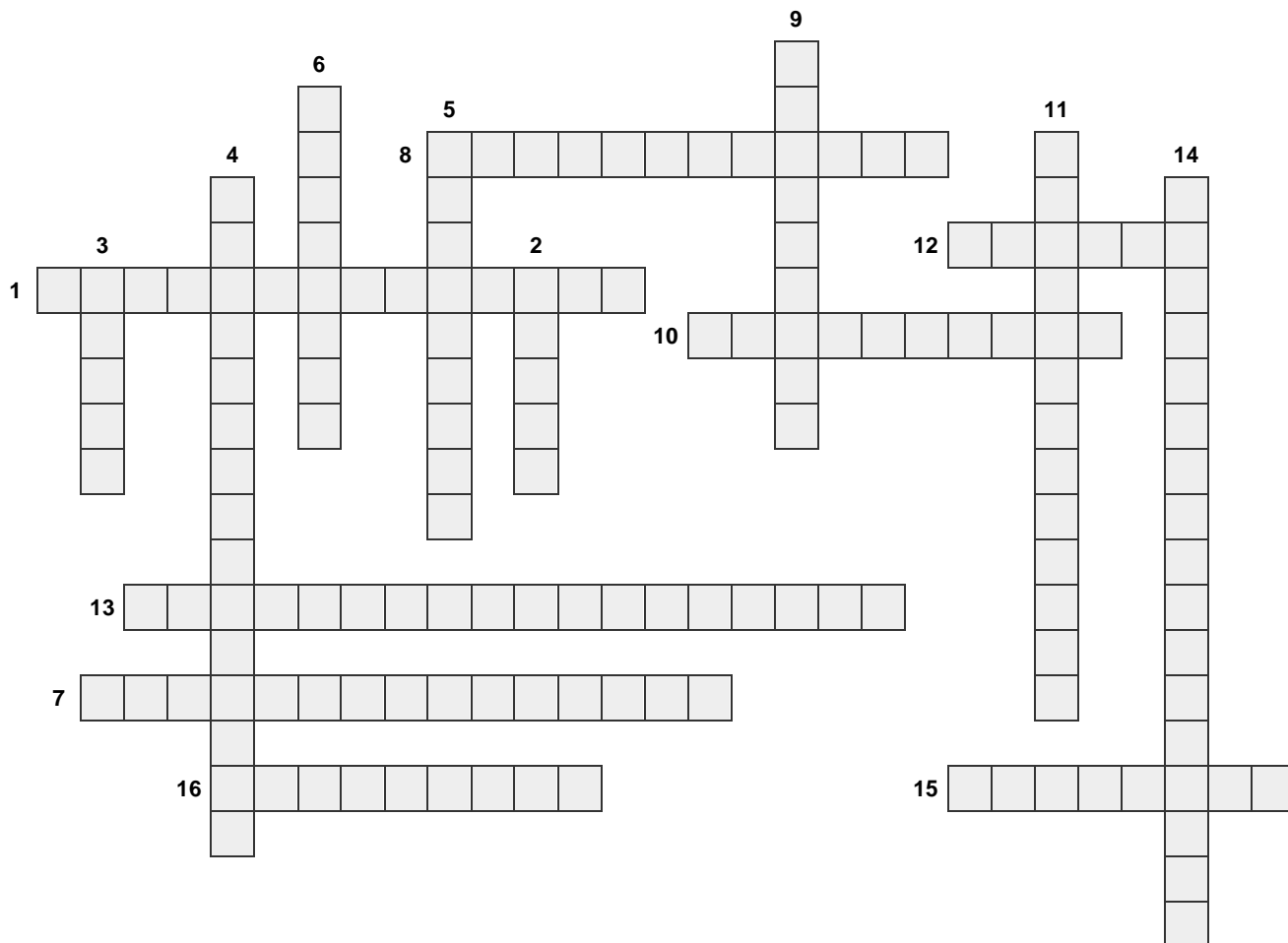
К эксплуатационным свойствам также относятся хладностойкость, жаропрочность, антифрикционность и др.

### Кроссворд по теме «Свойства металлов и сплавов»

**Задание:** решить кроссворд.

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_



### Вопросы к кроссворду

1. способность металла или сплава в расплавленном состоянии заполнять литейную форму

2. 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
3. деформация тела под действием внешних сил, сопровождающаяся изменением кривизны деформируемого тела
4. способность стали воспринимать закалку на определенную глубину от поверхности
5. способность сопротивляться разрушению под действием внешних сил (нагрузок)
6. деформация тела с одним закрепленным концом под действием пары равных, противоположно направленных сил, плоскость которых перпендикулярна к оси тела
7. свойство материала оказывать сопротивление износу, т. е. изменению размеров и формы вследствие разрушения поверхностного слоя изделия при трении
8. способность металла, не разрушаясь, изменять форму под действием нагрузки и сохранять измененную форму после снятия нагрузки
9. количество вещества, содержащегося в единице объема, г/см<sup>3</sup>
10. деформация, характеризуемая увеличением длины тела, когда к обоим его концам приложены силы, равнодействующие которых направлены вдоль оси тела
11. способность металла давать доброкачественное соединение при сварке, характеризуется отсутствием трещин и других пороков в швах и прилегающих к шву зонах основного металла
12. деформация, характеризуемая уменьшением объема тела под действием сдвливающих его сил
13. способность металлов проводить электрический ток
14. это способность тел передавать с той или иной скоростью тепло при нагревании и охлаждении
15. способность металлов и сплавов без разрушения изменять свою форму при обработке давлением
16. свойство металла оказывать сопротивление проникновению в него другого, более твердого тела, не получающего остаточных деформаций

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата проверки: \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя: \_\_\_\_\_

### Практическая работа №7

#### Тема 2. 3. Свойства металлов и сплавов

Описать и зарисовать суть процесса «измерение твердости по методу Роквелла»

**Цель работы:** Изучить процесс измерения твердости по методу Роквелла

**Ход работы.**

- изучить теоретический материал

- описать и зарисовать суть метода изучения твердости по методу Роквелла

#### **6. Технологические пробы: методы и способы испытания**

#### 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 изделии.

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 поразмерам и форме загиб без надрывов и трещин. Различают загиб на определенный угол, до параллельности загнутых сторон и до соприкосновения их.

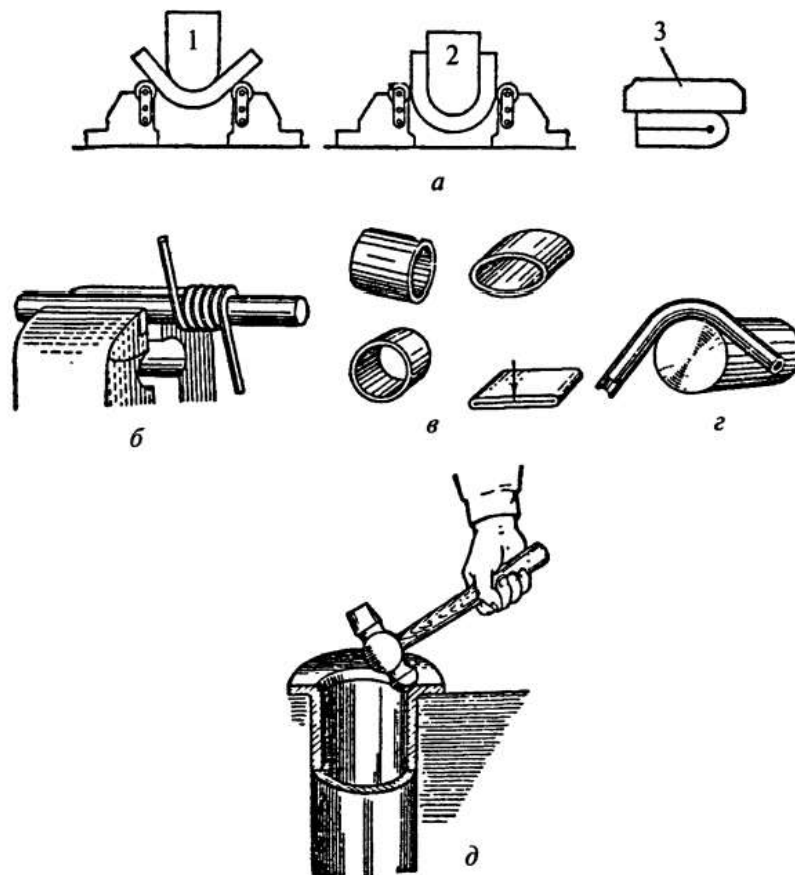


Рис. 14. Технологические пробы:

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 соприкосновения сторон

**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  $90^\circ$  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  $90^\circ$ .

**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 снопы 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, ит. 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?

Задание: в рабочей тетради изобразить схему измерения и описать процесс измерения твердости по методу Роквелла

### Практическое работа № 8

#### Тема 2.4 Сплавы железа с углеродом

Кроссворд «Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов и зависимость свойств сплавов от содержания углерода и примесей».

**Цель работы:** Повторить теоретический материал по свойствам металлов и сплавов. Обобщение знаний по теме «Сплавы железа с углеродом».

#### *1. Железо и его свойства. Углерод и его свойства*

##### 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°C. Железо имеет две полиморфные модификации,  $\alpha$  и  $\gamma$ .

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

При нагреве железа его объемно-центрированная кубическая решетка при 910°C превращается в гранцентрированную кубическую решетку,  $\alpha$ -железо превращается в  $\gamma$ -железо;  $\gamma$ -железо существует при температуре 910—1392°C.

В интервале температур 1392—1539°C существует  $\alpha$ -железо, которое обозначают также  $\delta$ -железо.

##### Углерод и его свойства

Углерод является неметаллическим элементом. Температура плавления углерода 3500°C. 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.

## **2. Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов, основные характеристики составляющих**

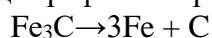
### **Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов**

Железоуглеродистые сплавы могут иметь следующие структурные составляющие.

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

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

**Цементит (Ц)** — химическое соединение железа с углеродом (карбид железа  $Fe_3C$ ). В цементите содержится 6,67 % углерода. Температура плавления цементита около 1600°C. 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



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°C. 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°C. При температуре 727°C 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.

## **3. Диаграмма состояния железо-цементит: фазы - жидкий сплав, твердые растворы, химическое соединение**

### **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 АС0. Цементит  $Fe_3C$  (Ц) — вертикальная линия DFKL. Область феррита (Ф) располагается левее линии GPQ. Область

аустенита (А) — АЕСС.

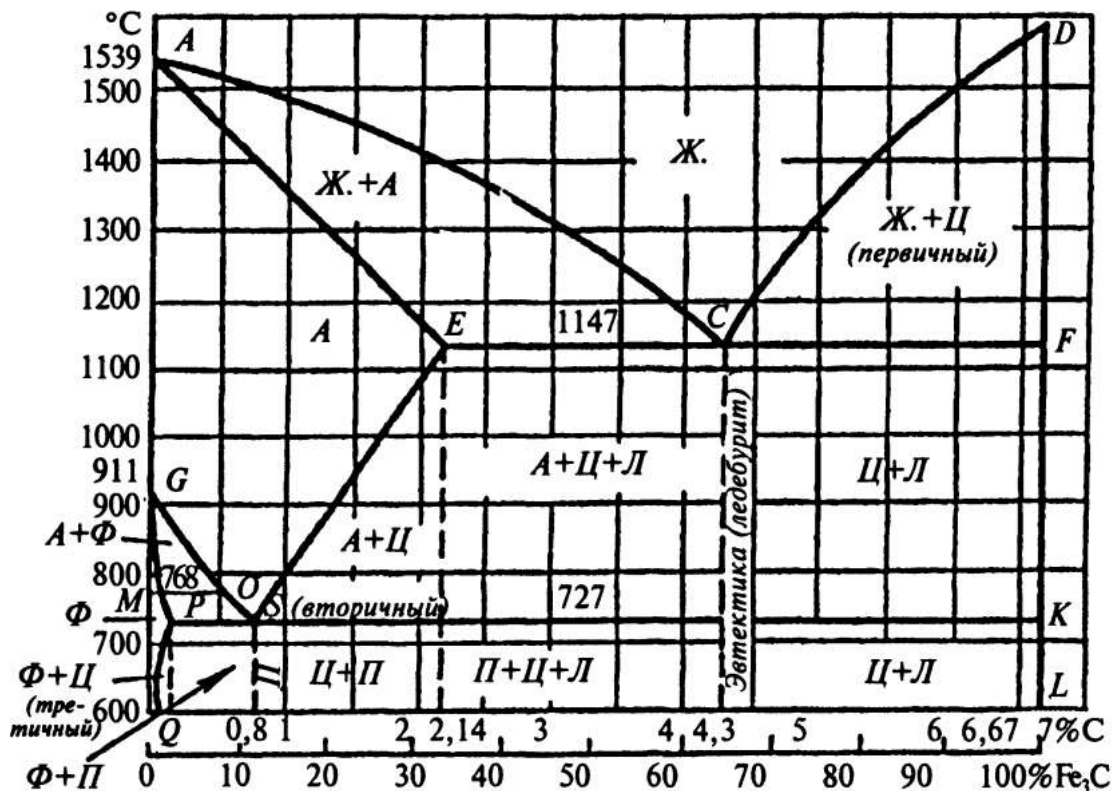


Рис. 8. Диаграмма состояния железо — цементит

(в упрощенном виде): А — аустенит, П — перлит, Л — ледебурит, Ф — феррит, Ц — цементит

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

При температуре 727°С 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°С 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 % С, 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 % С) кристаллизуется при постоянной температуре с образованием только эвтектики — ледебурита (А + Fe<sub>3</sub>C).

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 % С (точка Р), 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°C 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°C (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°C 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°C 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°C состоит только из ледебурита (перлит + цементит).

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

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

#### ***4. Сплавы железа с углеродом, различие технологических и механических свойств сплавов***

##### **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.

## **5. Зависимость свойства железоуглеродистых сплавов от содержания углерода и постоянных примесей**

### **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 окиси 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.

## **6. Влияние легирования на свойства железоуглеродистых сплавов**

## Влияние легирования на свойства железуглеродистых сплавов

Элементы, специально вводимые в сплав с целью изменения его строения и свойств, называются *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  $\gamma$ -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 ит. 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

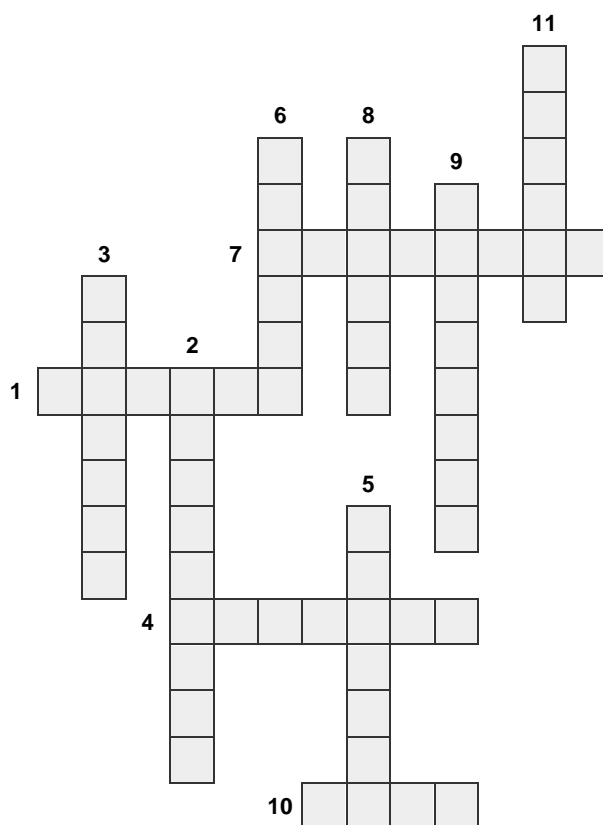
1. Что называется сплавом железа с углеродом?
2. Назовите структурные составляющие железуглеродистых сплавов.
3. Какой сплав называется чугуном?
4. Как подразделяются стали по процентному содержанию углерода?

Кроссворд «Структурные составляющие железуглеродистых сплавов и зависимость свойств сплавов от содержания углерода и примесей».

**Задание:** решить кроссворд.

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_





## Вопросы к кроссворду

1. механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,8 % углерода
2. механическая смесь аустенита и цементита, содержащая 4,3 % углерода
3. этот элемент существенно влияет на структуру чугуна, усиливая его графитизацию
4. этот элемент оказывает большое влияние на механические свойства сталей. Чем выше содержание этого элемента в стали, тем больше в ее структуре содержится цементита.
5. этот элемент заметно повышает прочность стали, не снижая ее пластичности, резко уменьшает хрупкость при высоких температурах (красноломкость), удаляя серу из расплава
6. аллотропическая модификация углерода. Этот элемент мягок, прочность его очень низкая
7. твердый раствор углерода и других элементов в  $\gamma$  -железе. Существует только при высоких температурах. Этот сплав высокопластичен, но более тверд, чем феррит
8. этот элемент считается вредной примесью. Он уменьшает пластичность и вязкость стали, увеличивает ее склонность к образованию трещин при низких температурах (хладноломкость)
9. химическое соединение железа с углеродом (карбид железа  $Fe_3C$ ). В это сплаве содержится 6,67 % углерода. Температура плавления этого сплава около  $1600^{\circ}C$
10. этот элемент считается вредной примесью. Он снижает ударную вязкость, пластичность, предел выносливости, свариваемость и коррозионную стойкость сталей. Этот элемент вызывает охрупчивание стали при высоких температурах
11. твердый раствор внедрения углерода и других элементов в  $\alpha$  - железе. Имеет объемно-центрированную кубическую решетку. Этот сплав высокопластичен и мягок, хорошо обрабатывается давлением в холодном состоянии

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата проверки: \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя: \_\_\_\_\_

## Практическая работа № 9

### Тема 2.5. Основы термической обработки

Тест по теме «Основы термической обработки»

#### Цель:

- изучить основы термической обработки. Контроль знаний по теме.

#### Ход занятия:

- изучить теоретический материал;
- изучить учебную литературу по теме занятия;
- выполнить тестовое задание.

### *1. Характеристика термической обработки. Основные факторы термической обработки*

#### 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.

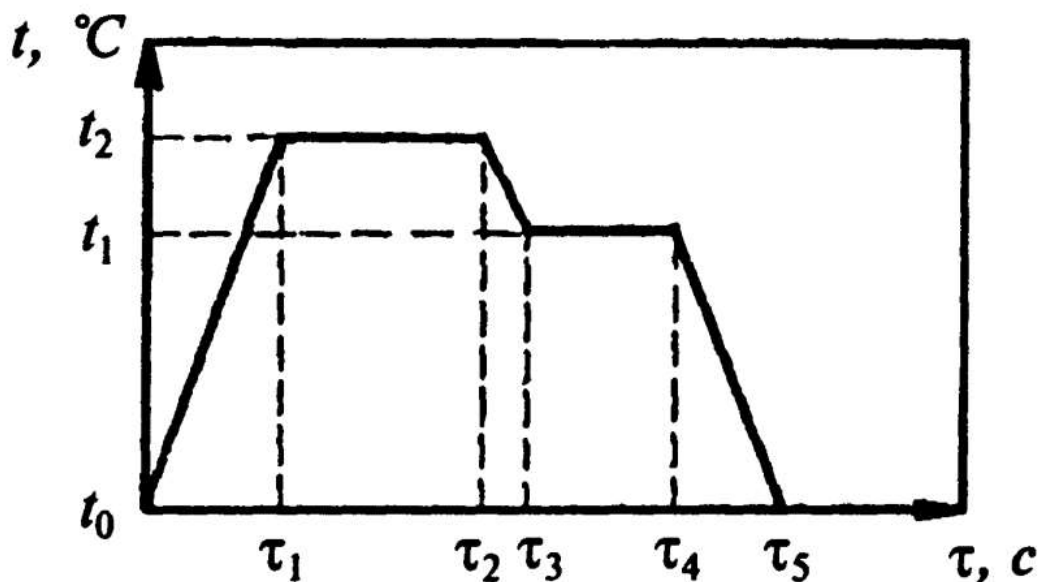


Рис. 26. График термической обработки

## 2. Виды термической обработки стали: характеристики термической, химико-термической, термомеханической 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.



### 3. Фазовые и структурные превращения при термической обработке стали

#### Фазовые и структурные превращения при термической обработке стали

Основой для рассмотрения видов термической обработки стали является часть диаграммы железо — углерод, соответствующая 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  $\gamma$ -железе;

**Перлит** — эвтектоидная смесь феррита и цементита.

**Мартенсит** — пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе.

При термической обработке стали различают четыре основных 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  $727^{\circ}\text{C}$  (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  $727^{\circ}\text{C}$  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  $650\text{—}700^{\circ}\text{C}$  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  $600\text{—}650^{\circ}\text{C}$  образуется сорбит, а при  $550\text{—}600^{\circ}\text{C}$  — 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  $240^{\circ}\text{C}$  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  $\alpha$ -железе. Мартенсит имеет ту же концентрацию углерода, что и исходный аустенит. Из-за перенасыщенности углеродом решетка мартенсита сильно искажена и вместо кубической приобретает тетрагональную форму (рис. 27). При переходе от аустенитной к мартенситной структуре объем и размеры деталей увеличиваются.

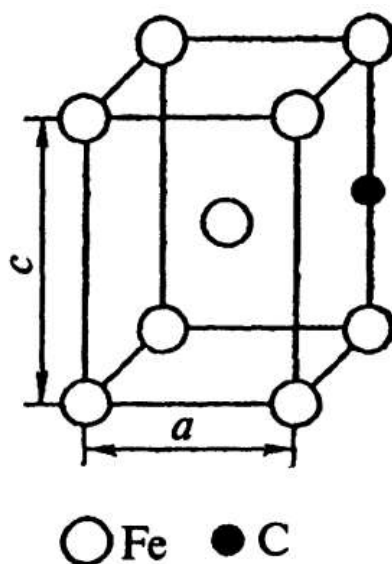


Рис. 27 Тетрагональная кристаллическая ячейка мартенсита  
хрупкость.

Мартенситное превращение идет в интервале температур при непрерывном охлаждении. Для эвтектоидной стали оно начинается при  $240^{\circ}$  и заканчивается при  $-50^{\circ}\text{C}$ .

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  $200^{\circ}\text{C}$  из мартенсита выделяются пластинки карбидной фазы, решетка мартенсита становится близкой к кубической. Образуется структура отпущенного мартенсита. При нагреве до  $300^{\circ}\text{C}$  остаточный аустенит превращается в смесь перенасыщенного  $\alpha$ -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  $400^{\circ}\text{C}$  сталь состоит из феррита и цементита, образующих структуру троостита отпуска. При нагреве до  $600^{\circ}\text{C}$  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 обуславливает различие в свойствах структур. Зернистые структуры имеют более высокие механические свойства, характеризуются большей пластичностью и вязкостью при равной твердости.

**4. Влияние термической обработки (отжиг, отпуск, нормализация, закалка) на механические свойства стали**

## 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 мелкоигльчатую 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°C.

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?

Тест по теме «Основы термической обработки»

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_

**Вопрос 1:** Что представляет собой термическая обработка изделий из черных и цветных металлов и сплавов?

**Варианты ответа:**

- а) Нагрев изделий до определенной температуры, выдержка при этой температуре и последующее охлаждение с постоянной скоростью с целью изменения структуры, а

следовательно и свойств стали;

б) Нагрев изделий до температуры выше точки АСФ и последующее охлаждение с различной скоростью с целью изменения структуры, а следовательно и свойств стали;

в) Нагрев изделий до температуры выше точки АСФ, выдержка при этой температуре и последующее охлаждение с целью изменения структуры, а следовательно и свойств стали;

г) Нагрев изделий до температуры ниже точки АСФ, выдержка при этой температуре и последующее охлаждение с различной скоростью с целью изменения структуры, а следовательно и свойств стали;

д) Нагрев изделий до определенной температуры, выдержка при этой температуре и последующее охлаждение с различной скоростью с целью изменения структуры, а следовательно и свойств стали.

**Вопрос 2:** В каких случаях на заводах применяют термическую обработку при производстве изделий из черных и цветных металлов и сплавов?

**Варианты ответа:**

а) Для понижения твердости и повышения пластичности металлов;

б) Для придания изделию нужного комплекса свойств;

в) Для улучшения технологических свойств металла;

г) Для понижения твердости и повышения пластичности металлов; для улучшения технологических свойств металла; для придания изделию нужного комплекса свойств.

д) Для повышения твердости и понижения пластичности металлов; для улучшения технологических свойств металла; для придания изделию нужного комплекса свойств.

**Вопрос 3:** В чем заключается особенность термообработки?

**Варианты ответа:**

а) В изменении структуры, а, следовательно, и свойств в нужном направлении, без изменения формы и геометрических размеров изделий;

б) В изменении структуры и геометрических размеров изделий;

в) В изменении геометрических размеров в нужном направлении;

г) В изменении свойств в нужном направлении, с изменением формы и геометрических размеров изделий;

д) В изменении структуры, а, следовательно, и свойств в нужном направлении, с изменением формы и геометрических размеров изделий

**Вопрос 4:** Какими параметрами характеризуется режим любого процесса термообработки?

**Варианты ответа:**

а) Температурой нагрева и скоростью охлаждения;

б) Температурой нагрева, временем выдержки и скоростью охлаждения;

в) Температурой нагрева, временем выдержки и скоростью нагрева;

г) Температурой нагрева, временем выдержки, скоростью нагрева и охлаждения;

д) Температурой нагрева и скоростью нагрева и охлаждения.

**Вопрос 5:** Какой вид обработки предполагает совмещение в одном технологическом процессе нагрева изделий до определенных температур и пластическое деформирование.

**Варианты ответа:**

а) термическая обработка

б) термомеханическая обработка

в) диффузионная металлизация

г) химико-термическая обработка

**Вопрос 6:** Цементация – это процесс 1 насыщения 2 слоя стальных изделий 3

Дополните определение цементации:

**Варианты ответа:**

а) 1 – быстрого, 2 – поверхностного, 3- азотом

- б) 1 – диффузионного, 2 – поверхностного, 3- азотом
- в) 1 – диффузионного, 2 – поверхностного, 3- углеродом
- г) 1 – диффузионного, 2 – поверхностного, 3- углеродом и азотом одновременно

**Вопрос 7:** Какие структурные превращения происходят при нагреве стали выше 727° С?

**Варианты ответа:**

- а) превращение мартенсита в перлитные структуры (перлит, сорбит, троостит);
- б) превращение перлита в аустенит;
- в) превращение аустенита в перлит;
- г) превращение аустенита в мартенсит.

**Вопрос 8:** Заключительной операцией термической обработки является

**Варианты ответа:**

- а) Отпуск;
- б) Отжиг;
- в) Закалка;
- г) Нормализация.

**Вопрос 9:** После закалки структура стали состоит из?

**Варианты ответа:**

- а) аустенита и перлита;
- б) цементита и феррита;
- в) перлита и ледебурита;
- г) мартенсита и остаточного аустенита

**Вопрос 10:** Эвтектоидные стали это?

**Варианты ответа:**

- а) содержащие углерода меньше 0,8 %, структура которых состоит из феррита и перлита;
- б) содержащие около 0,8 % углерода, структура которых состоит из перлита;
- в) содержащие углерода от 0,8 до 2,14 %, структура которых состоит из перлита и цементита.

**Оценка:** \_\_\_\_\_

**Дата проверки:** \_\_\_\_\_

**Подпись преподавателя:** \_\_\_\_\_

## Практическая работа № 10

### Тема 2.6. Технология термической обработки стали

Кроссворд «способы термической обработки стали и дефекты возникающие при этом»

**Цель работы:** Повторить теоретический материал по термической обработке стали. Обобщение знаний по теме.

#### Тема 2.6.

#### Технология термической обработки стали

*1. Отжиг и нормализация. Виды отжига, область применения. Особенности применения термической обработки - нормализация*

#### 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°C для устранения химической неоднородности, образовавшейся при кристаллизации металла. Гомогенизации подвергают слитки или отливки высоколегированных сталей. Получается крупнозернистая структура, которая измельчается при последующем полном отжиге или нормализации;

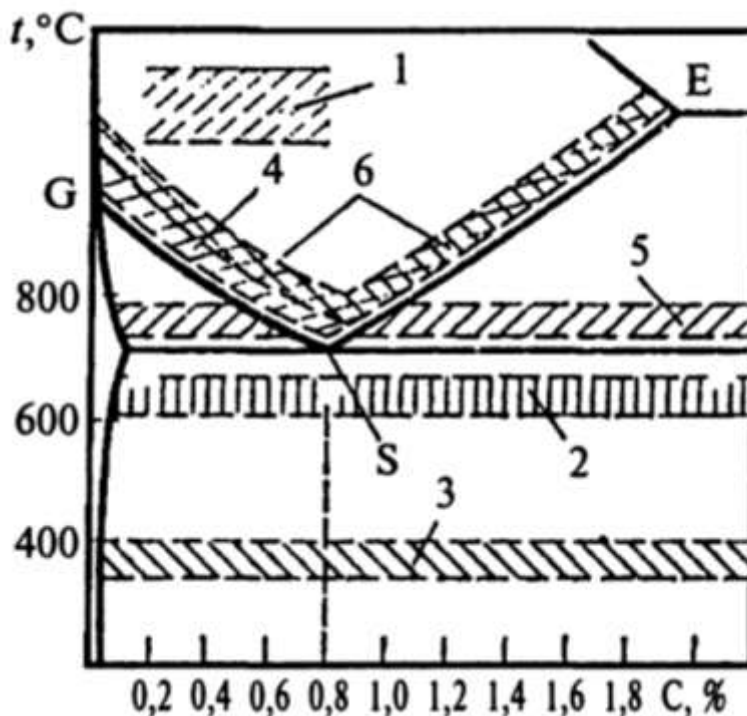


Рис. 28. Температура нагрева при отжиге и нормализации:

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)

— *рекристаллизационный отжиг*, который применяется для снятия наклепа после холодной пластической деформации. Температура нагрева чаще всего находится в пределах 650—700°C;

— 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°C, чаще 350—600°C.

**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 перекристаллизация 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°C, 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).

## **2. Закалка, классификация в зависимости от температуры нагрева. Способы закалки стали**

### **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 доэвтектоидных сталях феррито-мартенситная, а в заэвтектоидных сталях — мартенсито-цементитная структура.

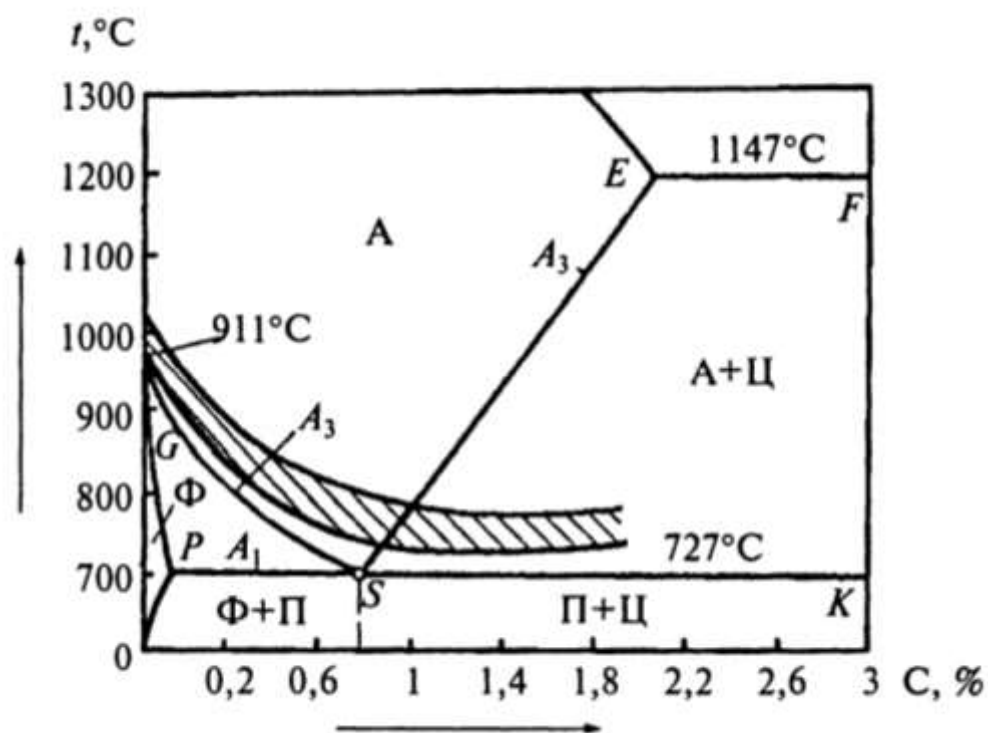


Рис. 29. Оптимальный интервал закалочных температур углеродистой стали

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°C 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 способность 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°C охлаждаются 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°C до температур конца мартенситного превращения (обычно не ниже —75°C). В результате обработки холодом повышается твердость и стабилизируются размеры деталей. Наиболее распространенной является охлаждающая среда смеси ацетона с углекислотой.

### **3. Отпуск и искусственное старение, виды отпуска. Особенности выполнения обработки способами искусственное и естественное старение**

#### **Отпуск и искусственное старение**

**Отпуск** — это заключительная операция термической обработки стали, которая заключается в нагреве ниже температуры перлитного превращения (727°C), 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°C 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°C 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°C 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°C.

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°C 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.

#### **4. Термомеханическая и механотермическая обработка, способы выполнения обработки**

##### **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 GSна диаграмме железо—цементит). Степень деформации составляет 20—30 %. После деформации следует немедленная закалка (рис. 30, а);

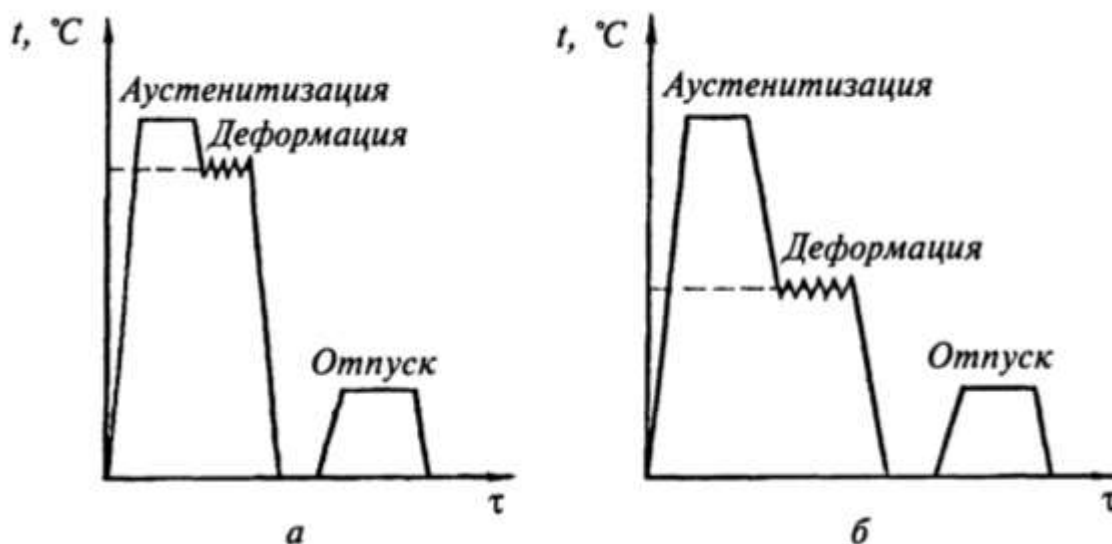


Рис. 30. Схема термомеханической обработки стали:  
а — ВТМО; б — НТМО

— *низкотемпературную термомеханическую обработку* (НТМО), при которой сталь деформируют в области устойчивости переохлажденного аустенита ( $400\text{—}600^\circ\text{C}$ ); температура деформации ниже температуры рекристаллизации, но выше температуры начала мартенситного превращения. Степень деформации составляет  $75\text{—}95\%$ . Сразу после деформации проводят закалку (рис. 30, б).

В обоих случаях после закалки следует низкотемпературный отпуск ( $100\text{—}300^\circ\text{C}$ ).

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  $90\text{—}95\%$ . Такая обработка позволяет достичь предела прочности тонкой проволоки из высокоуглеродистой стали до  $5000\text{ МПа}$ .

В практике механотермической обработки также используется деформирование образца на  $3\text{—}5\%$  после мартенситного превращения, что позволяет повысить предел прочности на  $10\text{—}20\%$ .

## 5. Поверхностная закалка, промышленные методы поверхностной закалки. Преимущества и недостатки закалки с индукционным нагревом

### 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°C) 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 поверхностном слое. Глубина нагрева зависит от свойств металла и частоты тока. Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой.

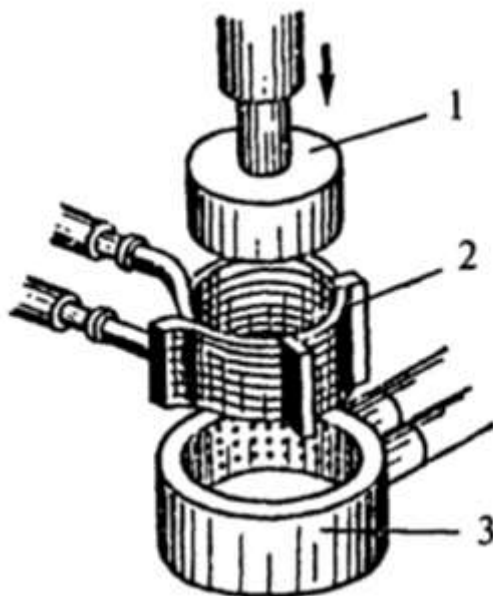


Рис. 31. Схема устройства для закалки с нагревом токами высокой частоты:

1 — закаливаемая деталь; 2 — индуктор; 3 — охладитель

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°C.

**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.

## **6. Химико-термическая обработка стали: виды обработки и основные процессы при выполнении обработки, преимущества и недостатки**

### **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 отпускком.

Цементацию проводят при температурах 920—950°C, когда устойчив аустенит, растворяющий углерод в больших количествах. Для цементации используют низкоуглеродистые стали (0,1—0,3 % C), 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°C) и низкий отпуск (150—170°C).

После термической обработки структура поверхностного слоя представляет собой мартенсит или мартенсит с небольшим количеством карбидов (твердость НКС 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:

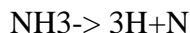
- твердые карбюризаторы (науглероживающие вещества), в качестве которых применяют смесь древесного угля с углекислым барием, кальцием и натрием;
- жидкие соляные ванны, в состав которых входят поваренная соль, углекислый натрий, цианистый натрий и хлористый барий;
- газы, содержащие углерод (природный, 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:



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 ит. д.) с добавлением хлористого аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ );
- 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  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{SiCl}_4$  и др., которые при 1000—1100°C 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°C, 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.

**7. Дефекты и брак при отжиге, нормализации, закалке: возможность устранения дефектов и брака**

**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 дробеструйных 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?

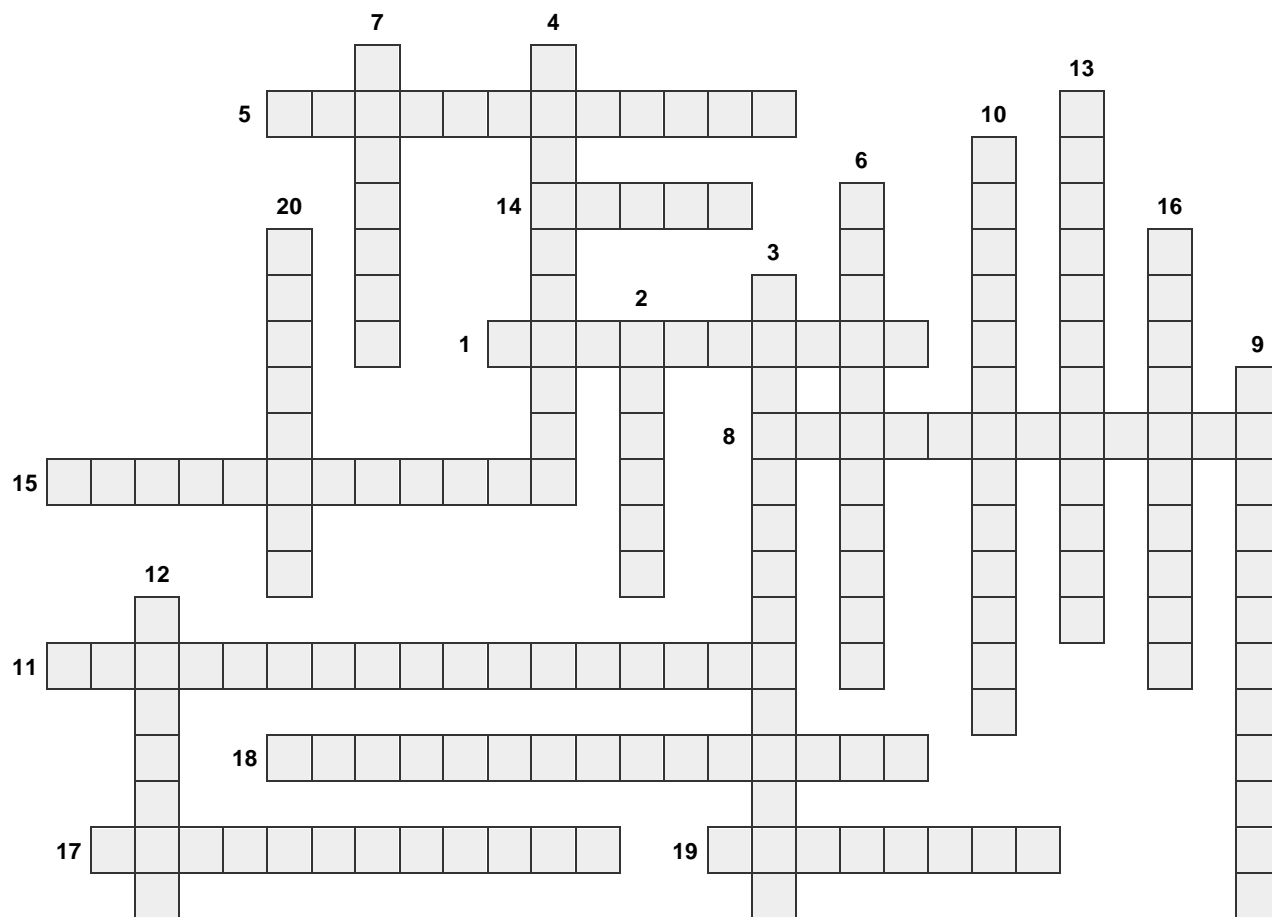
Кроссворд «способы термической обработки стали и возможные дефекты возникающие при этом»



**Задание:** решить кроссворд.

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_



### Вопросы к кроссворду

1. изменение формы и размеров изделия, происходит в результате внутренних напряжений, вызванных неравномерным охлаждением и фазовыми превращениями
2. заключительная операция термической обработки стали, которая заключается в нагреве ниже температуры перлитного превращения ( $727^{\circ}\text{C}$ ), выдержке и последующем охлаждении.
3. способность стали к повышению твердости при закалке и зависит главным образом от содержания углерода в стали.
4. несимметричная деформация изделий, которая возникает при неправильном положении детали при погружении ее в закалочную среду
5. процесс совместного насыщения поверхности стальных изделий азотом и углеродом.
6. процесс диффузионного насыщения поверхности бором
7. 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.
8. процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом для придания этому слою высокой твердости, износостойкости и устойчивости против коррозии
9. процесс диффузионного насыщения поверхностных слоев стали различными металлами (алюминием, хромом, кремнием, бором)
10. процесс диффузионного насыщения поверхности кремнием.
11. выгорание углерода с поверхности детали, происходит при окислении стали.
12. возникает в результате нагрева при еще более высоких температурах и длительной

- выдержке металла при высокой температуре в окислительной атмосфере печи.
13. процесс диффузионного насыщения поверхности хромом.
  14. 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.
  15. процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя алюминием.
  16. процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали углеродом.
  17. разновидность отжига, при этом процессе охлаждение проводится на спокойном воздухе.
  18. характеризует способность стали закаливаться на требуемую глубину.
  19. суть этого процесса заключается в выдержке деталей и инструмента при комнатной температуре и длится три и более месяцев.

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата проверки: \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя: \_\_\_\_\_

### Раздел 3. Конструкционные материалы

#### Практическая работа № 11

##### Тема 3.1. Основные свойства и классификация чугунов

##### Тест «Производство чугуна. Виды и марки чугунов»

#### Цель:

- изучить процесс производства чугуна, виды и марки чугунов. Контроль знаний по теме.

#### Ход занятия:

- изучить теоретический материал;
- изучить учебную литературу по теме занятия;
- выполнить тестовое задание.

**1. Чугуны: область применения в зависимости от технологических, эксплуатационных, технико-экономических показателей**

#### 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.

**2. Классификация чугунов по состоянию углерода, по форме включений графита, по типу структуры металлической основы**

#### 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);
- 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).

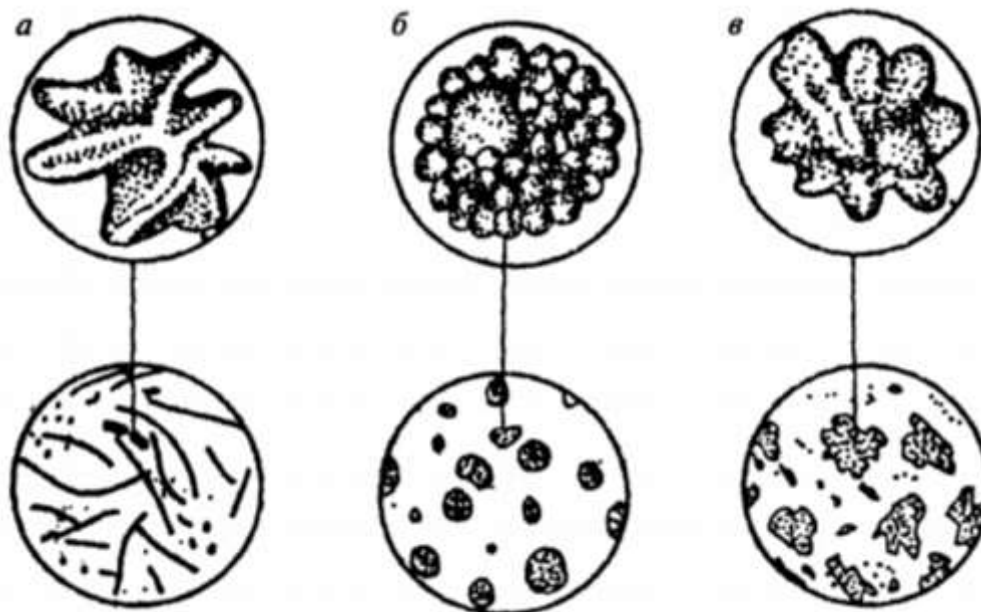


Рис. 18. Структура чугуна с графитом различной формы:  
 а — пластинчатый графит в сером чугуне; б — шаровидный графит в высокопрочном чугуне; в — хлопьевидный графит в ковком чугуне

**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.

### 3. Структура и свойства чугуна: структурные составляющие, примеси, влияющие на качественные характеристики чугуна

#### 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.

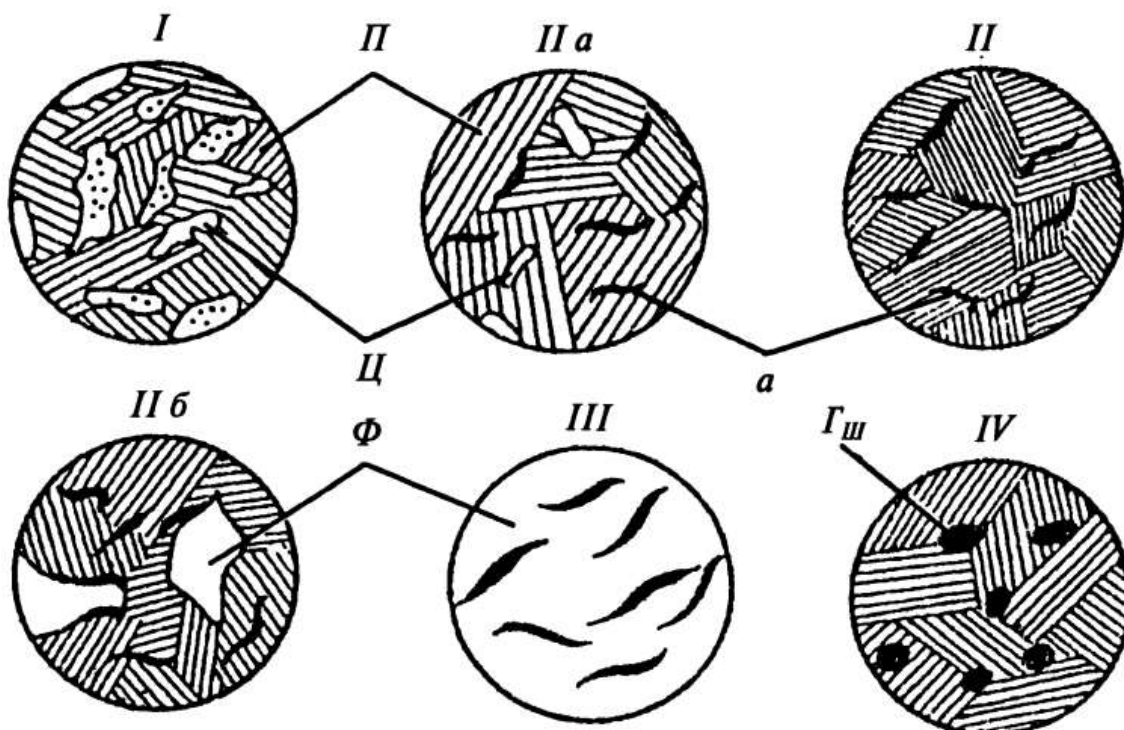


Рис. 19. Микроструктура чугуна:

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 обуславливает ухудшение литейных свойств чугуна, увеличение усадки, повышение склонности к трещинообразованию, снижение температуры краснеломкости чугуна.

#### **4. Серый чугун: характеристика по свойствам, достоинства и недостатки**

### **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 обуславливает 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 ферритно-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 изготавливают детали, подвергаемые ударам, воздействию переменных напряжений и интенсивному износу, например коленчатые валы легковых автомобилей.

## **5. Высокопрочный чугун: механические и технологические свойства, область применения**

### **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 (Церий) 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<sup>2</sup>).

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.).

## **6. Белый и ковкий чугун: механические и технологические свойства, область применения**

### **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 твердости, 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 % С 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).

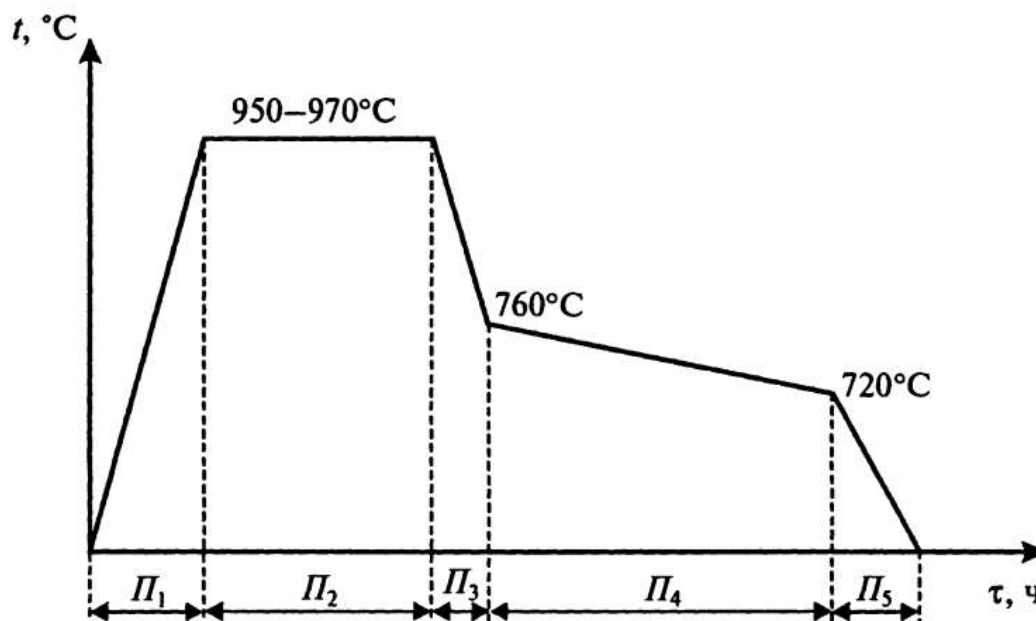


Рис. 20. Режим отжига белого чугуна на ковкий

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<sup>2</sup> (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<sub>2</sub>, 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.

#### **7. Легированные чугуны: механические и технологические свойства, область применения**

### **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°C (ЧХ 2) и 700°C (ЧХ 3).

Жаропрочные легированные чугуны ЧНМШ, ЧНПГ7Х2Ш с шаровидным графитом работоспособны при температурах 500 — 600°C и применяются для изготовления деталей дизелей, компрессоров и др.

**Коррозионно-стойкие легированные чугуны** марок ЧХ 1, ЧНХТ, ЧНХМД, ЧН2Х (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?

### **Ход выполнения**

**Тест «Производство чугуна. Виды и марки чугунов»**

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_



**1. Чугуном называется сплав железа с углеродом, где углерода содержится ...**

- А) до 2,14%.
- Б) от 2,14% до 6,67%.
- В) от 1% до 2%.
- Г) свыше 6,67%.

**2. Чугун от стали отличается ....**

- А) различным содержанием углерода.
- Б) прочностью.
- В) твёрдостью.
- Г) литейными свойствами.

**3. Чугун выплавляют в....**

- А) доменных печах.
- Б) мартеновских печах.
- В) кислородных конверторах.
- Г) электропечах.

**4. Полезными примесями при производстве чугуна являются:**

- А) сера и фосфор.
- Б) кремний и марганец.
- В) азот и водород.
- Г) все примеси полезные.

**5. Вредными примесями при производстве стали и чугуна являются:**

- А) сера и фосфор.
- Б) кремний и марганец.
- Г) углерод и кислород.
- Д) все примеси вредные.

**6. Материалы, служащие для отделения от руды пустой породы и золы топлива, называются ...**

- А) флюсами.
- Б) ферросплавами.
- В) катализаторами.
- Г) модификаторами.

**7. Передельный чугун в основном идёт на ...**

- А) производство литых заготовок.
- Б) переработку в сталь.
- В) добавки при производстве стали.
- Г) производство деталей машин.

**8. Самым хрупким из всех чугунов является ...**

- А) серый.
- Б) ковкий.
- В) высокопрочный.
- Г) белый.

**9. В массовом производстве изделий из чугуна преобладает...**

- А) ковкий чугун.
- Б) серый чугун.
- В) белый чугун.
- Г) высокопрочный чугун.

**10. Основным недостатком всех чугунов является высокая ...**

- А) твёрдость.
- Б) прочность.
- В) хрупкость.
- Г) износостойкость.

**11. Хорошими литейными свойствами обладает и хорошо обрабатывается резанием ...**

- А) серый чугун.
- Б) белый чугун.
- В) ковкий чугун.
- Г) высокопрочный чугун.

**12. Какой чугун можно ковать?**

- А) высокопрочный.
- Б) белый.
- В) серый.
- Г) ковкий.
- Д) чугуны никогда не коуют.

**13. Серый чугун маркируется ...**

- А) КЧ 30-6.
- Б) ВЧ 38-17.
- В) СЧ 44-64.
- Г) ЛЧ 24-10.

**14. Ковкий чугун маркируется ...**

- А) КЧ 30-6.
- Б) ВЧ 38-17.
- В) СЧ 44-64.
- Г) ЛЧ 24-10.

**Оценка:** \_\_\_\_\_

**Дата проверки:** \_\_\_\_\_

**Подпись преподавателя:** \_\_\_\_\_

### **Практическая работа № 12**

#### **Тема 3.2. Основные свойства и классификация стали**

Тест по теме «Основные свойства и классификация стали»

#### **Цель:**

- изучить свойства и классификацию сталей. Контроль знаний по теме.

#### **Ход занятия:**

- изучить теоретический материал;
- изучить учебную литературу по теме занятия;
- выполнить тестовое задание.

**1. Производство стали. Исходные материалы для получения стали.**

**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: переплавочный 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).

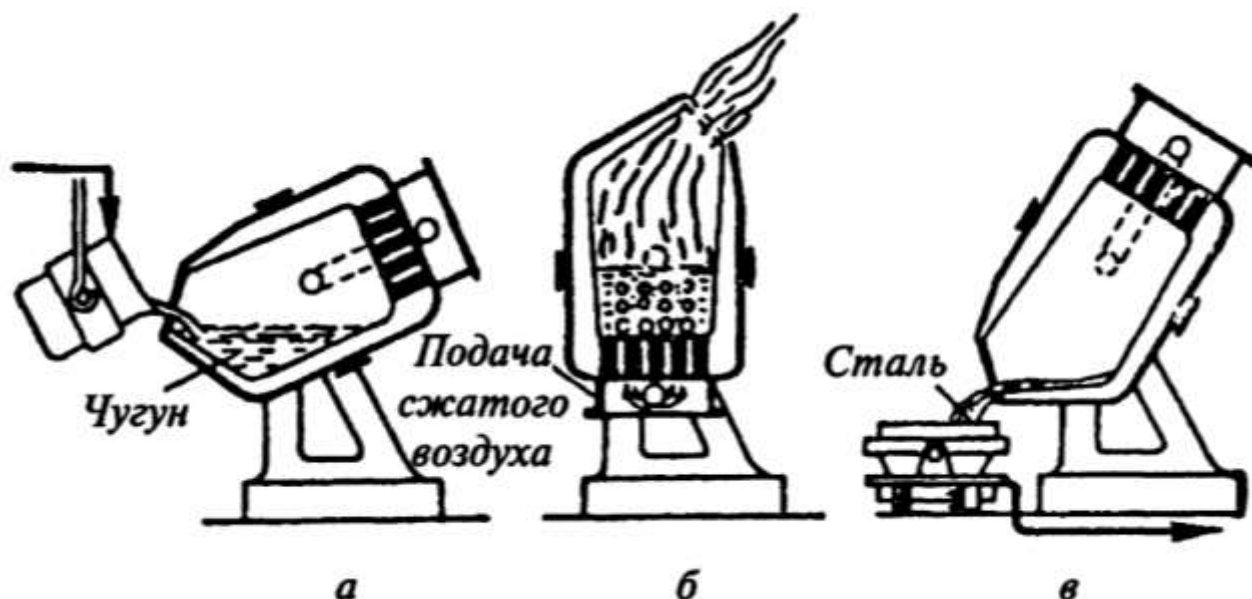


Рис. 21. Схема работы конвертера:  
 а — заливка чугуна; б — продувка; в — выпуск стали

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 глухондонное днище и летку для выпуска жидкого металла. В этих конвертерах реакция окисления примесей происходит интенсивнее, 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 (ротаторные) 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 производство 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 чугуновых 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.

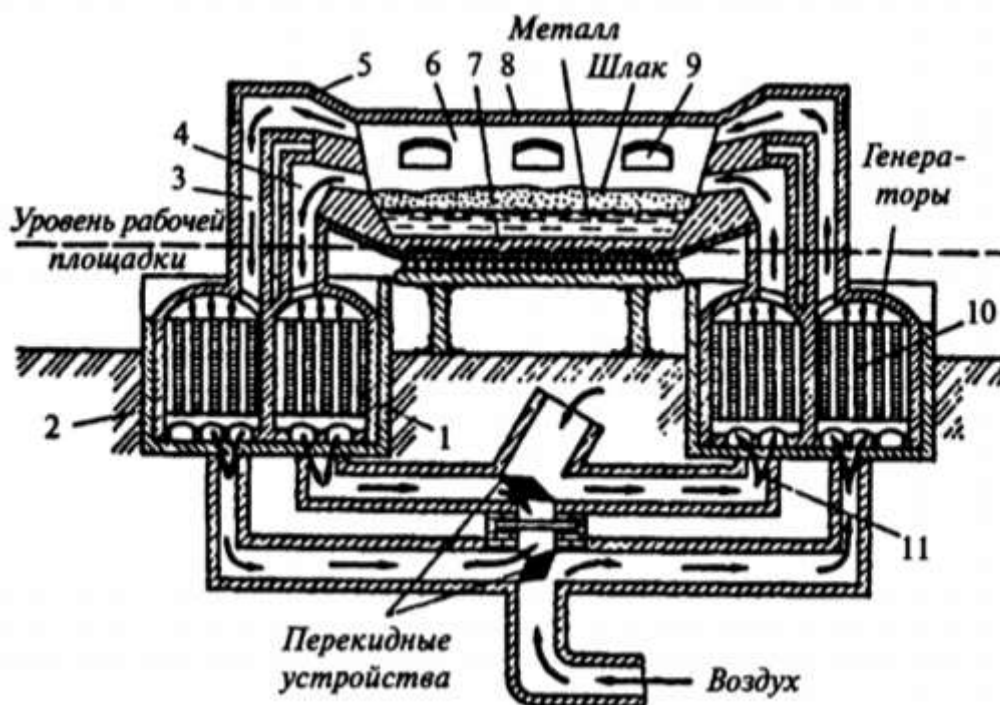


Рис. 22. Схема мартеновской печи:

- 1 — газоперегреватели; 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 — борва

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

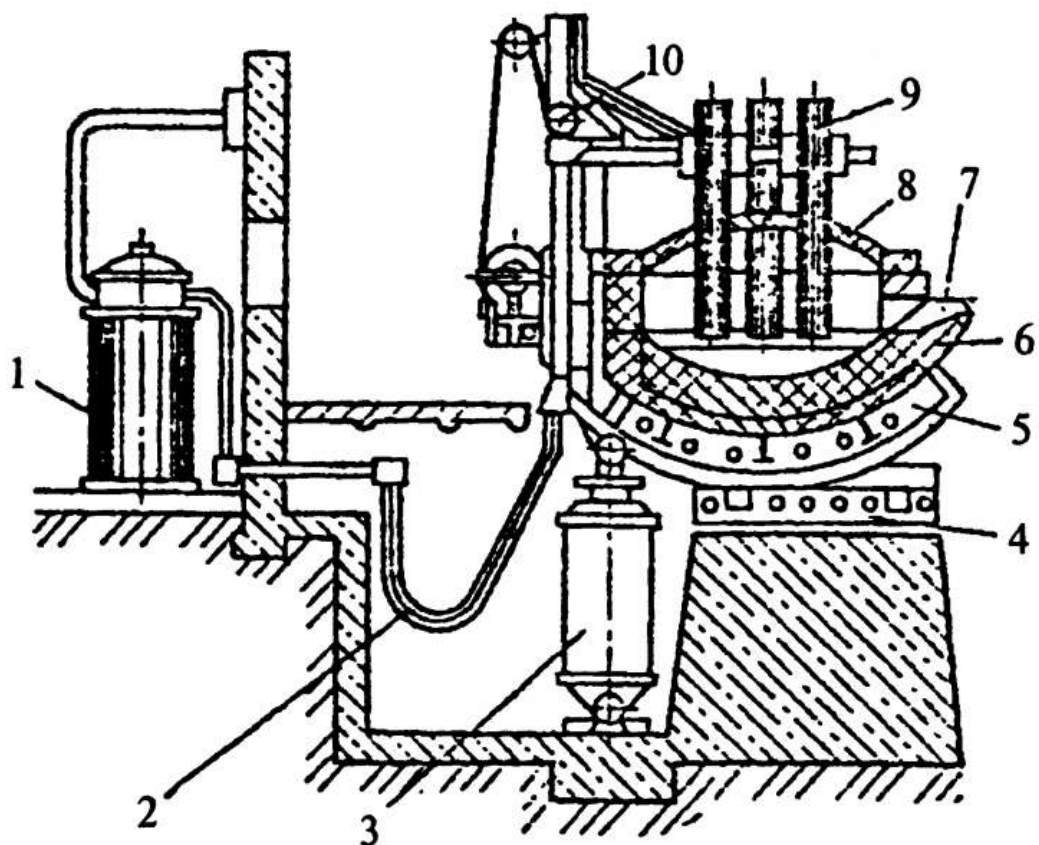


Рис. 23. Схема дуговой электропечи:

- 1 — трансформатор; 2 — токоподводящие 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

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 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.

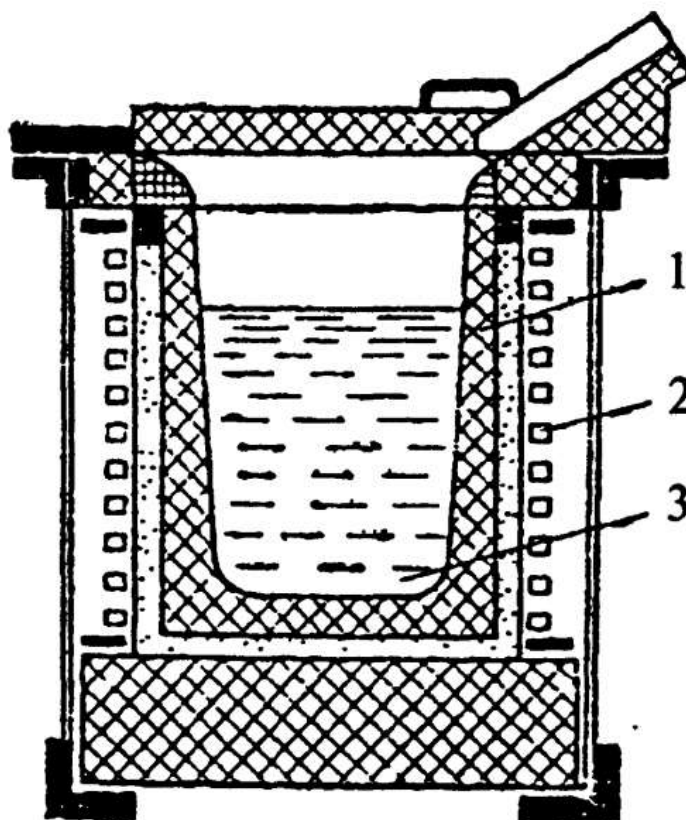


Рис. 24. Схема индукционной электрической печи:  
1 — огнеупорный тигель; 2 — индуктор; 3 — расплавленный металл

Расчет шихты ведут так, чтобы по расплавлению 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.



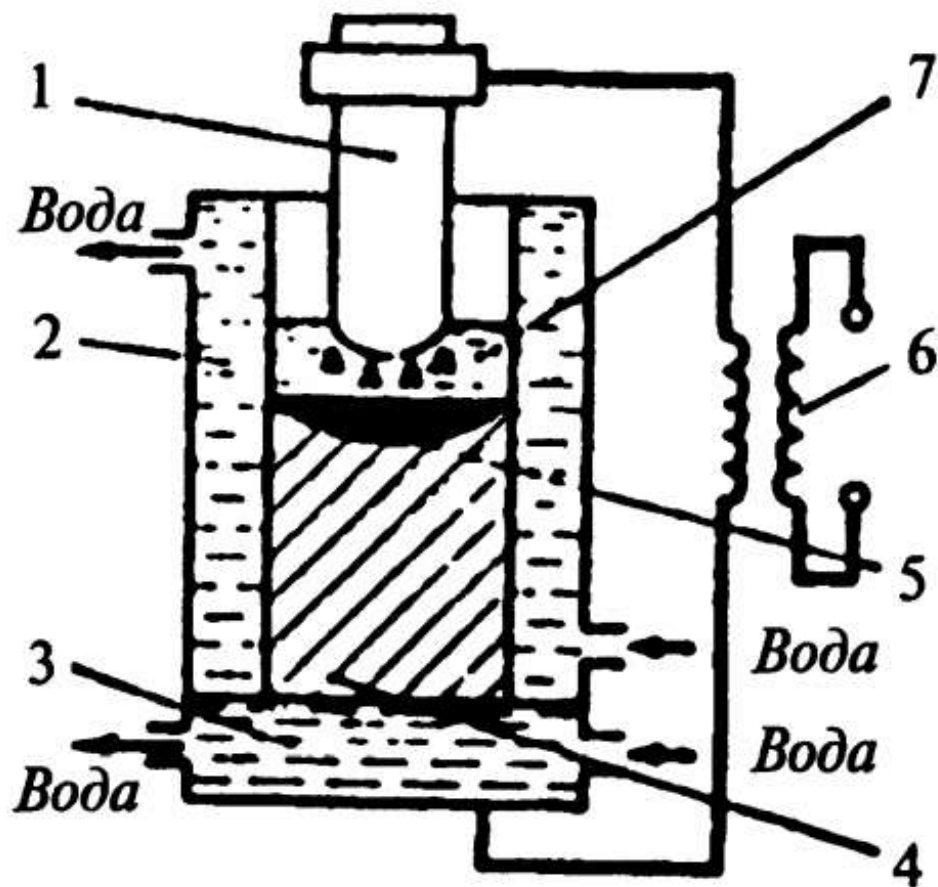


Рис. 25. Схема установки электрошлакового переплава стали:  
 1 — расходуемый электрод; 2 — медный водоохлаждаемый кристаллизатор; 3 — поддон; 4 — слиток; 5 — жидкий металл;  
 6 — трансформатор; 7 — расплавленный шлак

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

## **2. Общая классификация сталей: по химическому составу, структуре, назначению, качеству, степени раскисления**

### **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);

— **легируемые** (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 передбуквами 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 0,6 % Cr* **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°C 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, хрупкие 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 до 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 газовой выделенной, с образованием в верхней части слитков усадочной раковины.

Дендритная ликвация вызывает анизотропию механических свойств. Пластические свойства стали в поперечном (по отношению к направлению прокатки иликовки) 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.

**3. Углеродистые стали: механические и технологические свойства, область применения. Углеродистые стали обыкновенного качества и специального назначения**

## 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 Ст 5 и Ст 6 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 повышенным 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.*

#### ***4. Легированные стали: область применения, физические, химические, механические и техно логические свойства в зависимости от дополнительных элементов***

### **Легированные стали**

Для улучшения физических, химических, механических и технологических свойств стали легируют, т. е. вводят в состав дополнительные элементы (хром, никель, молибден и др.). Стали 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. Избыточные 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 газовой 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 подразделяют на среднепрочные ( $\sigma_{0,2} < 700$  МПа) и стали повышенной прочности ( $\sigma_{0,2} > 700$  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 — изготавливают из сталей 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА, которые мало разупрочняются при отпуске. Они могут быть использованы и без цементации после закалки и отпуски.

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 пределом 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 (хромансилы) 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 изготавливают ответственные детали, работающие при воздействии динамических нагрузок.

**Хромоникельмолибденовые стали** 40ХНМА, 38НХЗМА, 38ХНЗМФА 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°C). 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°C), 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. Легирование 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°C. Образующийся пересыщенный железоникелевый мартенсит сочетает достаточно высокую прочность и пластичность. В основном упрочнение сталей достигается в результате старения при 450—500°C.

Мартенситостареющие стали сохраняют высокие механические характеристики при низких температурах вплоть до температур сжиженных газов. Такие стали и теплоустойчивы до 500—700°C. 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 троостит.

Упругие элементы простой формы изготавливают 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 обуславливает 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 ШХ 6 применяют для деталей с максимальным размером до 10 мм, а ШХ15ГС — свыше 30 мм, крупногабаритные детали изготавливают из стали 20Х2Н44. 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, 08Х18НЮ, 12Х18Н10Т) и используют в авиа-, судо-, машиностроении.

**Жаростойкие (окалиностойкие) стали** сопротивляются окислению (образованию окалина) 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 — 40X9C2, 10X13CЮ, 12X18H9T, X8CM, X8C2M. Из этих сталей изготавливают, например, клапаны двигателей внутреннего сгорания.

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

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°C, применяют стали 15, 20, 25, 30, 40 и 45; для деталей с рабочей температурой среды 500—580°C — низкоуглеродистые стали, легированные кобальтом, молибденом и ванадием (16M, 25XM, 12X1MФ).

Нагруженные детали установок с температурой рабочей среды 450—470°C изготавливают 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 15X11MФ и 1XKBHMФ закалывают в масле при 1000—1060°C и отпускают при 700—740°C. Еще более высокой жаропрочностью обладают аустенитные стали 4XH14B2M и 4X15H7Г7Ф2MC, применяемые для изготовления клапанов авиационных двигателей.

## **5. Инструментальные стали и твердые сплавы: перспективы применения в машиностроении**

### **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, У3, 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, УЛ, У12 идут на изготовление металлорежущего инструмента: резцов, сверл, метчиков, плашек, напильников.

Стали У8, У9, У10 применяются при изготовлении измерительного инструмента — скобы, калибры ит. п.

**Низколегированные стали** с небольшой прокаливаемостью применяют для изготовления инструмента, работающего при температурах до 200—260°C. 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 послековки быстрорежущую сталь отжигают при 800—860°C. Требуемую теплостойкость быстрорежущие стали приобретают после закалки и многократного отпуска. Отличительной особенностью закалки этих сталей является медленный нагрев и прогревание при 480 и 850°C в средах, предотвращающих их окисление и обезуглероживание. Для сокращения числа операций отпуска после закалки стали ее обрабатывают холодом (—80°C).

Для повышения износостойкости инструмент из быстрорежущих сталей подвергают цианированию.

По режущим свойствам быстрорежущие стали разделяют на:

— *нормальной производительности* (вольфрамовые Р18, Р12, Р9, Р9Ф5 и вольфраммолибденовые Р6М3, Р6М5), с теплостойкостью инструмента до 620°C;

— *повышенной производительности*, имеющие в своем составе кобальт, или с повышенным содержанием ванадия (марок Р18Ф2, Р14Ф4, Р18К5Ф2, РУМ4К8); с теплостойкостью инструмента до 640°C.

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 НRс. Закалку проводят в масле при температуре 840—880°C. Инструмент повышенной точности подвергают обработке холодом при —50...-80°C.

Стали марок 15, 20, 15Х, 20Х, 12ХН3А используют при изготовлении плоских и длиномерных 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°C 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 НRс), теплостойкость (до 1000°C). 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.

### 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?

### Тест по теме «Основные свойства и классификация стали»

Задание: решить тест

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_

#### Вопрос: 1

Сталь это сплав .....

Выберите один из 5 вариантов ответа:

- 1) Железа и алюминия
- 2) Железа, никеля и вольфрама
- 3) Железа и углерода, при содержании углерода менее 2%
- 4) Железа и свинца
- 5) Железа и углерода, при содержании углерода более 2%

#### Вопрос: 2

Основные компоненты углеродистой стали (выбери несколько правильных вариантов ответов):

Выберите несколько из 5 вариантов ответа:

- 1) Никель и вольфрам
- 2) Железо и углерод
- 3) Марганец и кремний
- 4) Железо и алюминий
- 5) Сера и фосфор

#### Вопрос: 3

Сталь Ст.7 относится

Выберите один из 5 вариантов ответа:

- 1) к конструкционным углеродистым сталям обыкновенного качества
- 2) к автоматным сталям
- 3) к инструментальным углеродистым высококачественным сталям
- 4) к конструкционным легированным сталям
- 5) к инструментальным легированным сталям

#### Вопрос: 4

Сталь 20ХС2 расшифровывается:

Выберите один из 5 вариантов ответа:

- 1) 20 - 0,20% углерода, Х - хром 4%, С - кремний 2%
- 2) 20 - 20% углерода, Х - хром, С - кремний
- 3) 20 - 0,20% углерода, Х - кремний, С - хром, менее 2%
- 4) 20 - 2% углерода, Х - хром, менее 2%, С - кремний 2%
- 5) 20 - 0,20% углерода, Х - хром, менее 2%, С - кремний 2%

#### Вопрос: 5

Вредными примесями в сталях являются (выбери несколько правильных вариантов ответов)

Выберите несколько из 5 вариантов ответа:

- 1) Сера

- 2) Кремний
- 3) Железо
- 4) Фосфор
- 5) Марганец

**Вопрос: 6**

Сталь P18-относится...

*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

- 1) к высоколегированным
- 2) к инструментальным быстрорежущим
- 3) к инструментальным углеродистым качественным
- 4) к конструкционным углеродистым обыкновенного качества
- 5) к конструкционным легированным сталям

**Вопрос: 7**

Буквы Ю и Р в марках сталей обозначают:

*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

- 1) марганец и кремний
- 2) никель и алюминий
- 3) алюминий и бор
- 4) серу и фосфор
- 5) железо и углерод

**Вопрос: 8**

Расшифруйте марку легированной стали 12ХН4Ю3

*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

- 1) 12% углерода, Х- хром, Н - никель 4%, Ю - алюминий 3%
- 2) 0,12% углерода, Х- хром, менее 2%, Н - никель 4%, Ю - алюминий 3%
- 3) 0,12% углерода, Х- хром, Н - никель, менее 2%, Ю - алюминий 3%
- 4) 12% углерода, Н - никель 4%, Ю - алюминий 3%
- 5) Х- хром, Н - никель 4%, Ю - алюминий 3%

**Вопрос: 9**

Сколько углерода содержится в стали У7?

*Запишите число:*

---

**Вопрос: 10**

Выберите, что обозначают в марке стали 38ХЮ4МГ цифры и буквы.

*Укажите соответствие для всех 5 вариантов ответа:*

- 1) Хром, менее 2%
- 2) Марганец, менее 2%
- 3) Алюминий, 4%
- 4) 0,38% углерода
- 5) Молибден, менее 2%

\_\_\_ 38

\_\_\_ Х

\_\_\_ Ю

\_\_\_ М

\_\_\_ Г

**Вопрос: 11**

Сталь А12 относится...

*Выберите один из 5 вариантов ответа:*

- 1) к автоматным сталям и содержит 0,12% углерода
- 2) к высоколегированным сталям и содержит 12% углерода
- 3) к легированным и содержит 12% азота
- 4) к инструментальным углеродистым сталям и содержит 1,2% углерода
- 5) к легированным азотом сталям

**Вопрос: 12**

Стали, обладающие высокой стойкостью против коррозии в различных средах называют .....

Составьте слово из букв:

ЮМНЖИРВЕЕИАЩ -> \_\_\_\_\_

**Вопрос: 13**

Какой элемент в сталях обозначают буквой Г?

Запишите ответ:

\_\_\_\_\_

**Вопрос: 14**

Цифра в марки углеродистой конструкционной стали Ст.2 обозначает...

Выберите один из 5 вариантов ответа:

- 1) содержание углерода в сотых долях процентов
- 2) содержание углерода в десятых долях процентов
- 3) номер стали
- 4) содержание железа
- 5) содержание примесей

**Вопрос: 15**

Сплав железа с углеродом, при содержании углерода менее 2% называется ...

Составьте слово из букв:

ЬТАСЛ -> \_\_\_\_\_

**Оценка:** \_\_\_\_\_

**Дата проверки:** \_\_\_\_\_

**Подпись преподавателя:** \_\_\_\_\_

### Практическая работа № 13

#### Тема 3.3. Цветные металлы и сплавы

Таблица «Подгруппы цветных металлов по различным признакам»

**Цель:** Обобщение знаний о подгруппах цветных металлов

**Ход работы:**

- изучить теоретическую часть;
- изучить учебную литературу по теме занятия;
- заполнить таблицу по теме «Подгруппы цветных металлов по различным признакам»

#### Цветные металлы и сплавы

**1. Область применения, особенности и преимущества цветных металлов и сплавов.**  
**Классификация металлов: тяжелые, легкие, тугоплавкие металлы и др.**

#### 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.

Медь и ее сплавы применяются в химическом машиностроении, из них изготавливаются трубопроводы самого различного назначения, емкости, различные сосуды для криогенной техники и т.п.

Алюминий и его сплавы также как и медь используют для изготовления различных емкостей в химической и пищевой промышленности. Отличительной особенностью обладают сплавы на основе алюминия, только они преимущественно используются для самолетов, ракет, судов, в различных видах строительства. Это связано с наличием у алюминия таких свойств как высокая прочность при малой плотности, высокая коррозионная стойкость в некоторых

агрессивных средах и высокие механические свойства при низких температурах.

#### **Цветные металлы делятся на подгруппы по различным признакам:**

- **Легкие** – магний, титан, алюминий
- **Тяжелые** – медь, цинк, олово, никель, свинец;
- **Благородные** - золото, серебро, металлы платиновой группы;
- **Тугоплавкие** – плохо поддающиеся термообработке;
- **Рассеянные** – встречаются в виде примесей в минералах. в данную группу входят рубидий, таллий, галлий, индий, скандий, германий и другие;
- **Редкоземельные** – 17 элементов, в том числе иттрий, скандий, лантан и лантаноиды. Залежи встречаются нечасто, но запасы сырья в месторождениях достаточны.
- **Радиоактивные** – излучают во внешнюю среду потоки элементарных частиц.

Естественными (природными) радиоактивными считаются уран, полоний, радий, торий, актиний, протактиний. Искусственные образцы созданы человеком. Цветные металлы вырабатываются в огромном количестве благодаря их востребованности в промышленности. Цветная металлургия охватывает работы по добыче и обогащению руд, выплавке чистых металлов и получению сплавов. Отрасль делится на легкую металлургию и металлургию тяжелых цветных металлов. В РФ хорошо развита алюминиевая, титано-магниевая, медная, цинковая, никель-кобальтовая промышленность.

#### **Цветным металлам присущ ряд общих свойств**

- Высокая теплопроводность и удельная теплоемкость. Для сварочных работ необходим мощный тепловой импульс, но после прекращения воздействия наблюдается быстрое остывание. В ряде случаев свариванию предшествует разогрев детали – это особенно касается алюминия, меди и магния.
- Поглощение атмосферных газов (кроме инертных газов) при термообработке. Особенно ярко выражено у тугоплавких химически активных циркония, титана, тантала, молибдена.
- Медь, алюминий и магний, как и все их сплавы теряют механические свойства при нагревании и разрушаются даже при слабых ударах.

#### **2. Область применения сплавов в зависимости от физических, химических, механических, технологических свойств**

К цветным металлам относятся медь, алюминий, магний, титан, свинец, цинк и олово, которые обладают ценными свойствами и применяются в промышленности, несмотря на относительно высокую стоимость. Иногда, когда это возможно, цветные металлы заменяют черными металлами или неметаллическими материалами (например, пластмассами).

Выделяют следующие группы цветных металлов и сплавов: легкие металлы и сплавы (с плотностью 3.0 г/см<sup>3</sup>); медные сплавы и специальные цветные сплавы - мельхиор, незильбер, драгоценные сплавы и т. д.

В промышленности по применению **медь** занимает одно из первых мест среди цветных металлов. **Свойства меди** - высокая пластичность, электропроводность, теплопроводность, повышенная коррозионная стойкость. **Медь** используется в электромашиностроении, изготовлении кабелей и проводов для передачи электроэнергии и служит основой для изготовления различных сплавов, широко применяемых в машиностроении.

**Алюминий** - легкий металл, который обладает высокой пластичностью, хорошей электропроводностью и коррозионной стойкостью. Применяется для изготовления электропроводов, посуды, для предохранения других металлов и сплавов от окисления путем плакирования. В машиностроении чистый алюминий применяется мало, потому что имеет невысокие механические свойства. Алюминий является основой для получения многих сплавов, широко применяемых в самолетостроении, авто- и вагоностроении, приборостроении. Алюминиевые сплавы бывают деформированными (упрочняемые при помощи термической обработки и не упрочняемые) и литейными. **Дюралюминий** - самый распространенный сплав, который используется в деформированном виде и укрепляется при помощи термической обработки.

**Магний** является наиболее распространенным металлом, имеет серебристо-белый цвет. Большое преимущество магния состоит в том, что это очень легкий металл. Главным недостатком является его малая стойкость против коррозии. Чистый магний не нашел распространения в технике, но применяется в качестве основы для производства легких сплавов.

**Установлены следующие марки цветных металлов (ГОСТ):**

алюминий - АВ1, АВ2, АОО, АО, А1, А2 и А3;

медь - МО, М1, М2, МЭ, М4;

олово - 01, 02, ОЭ и 04; свинец - СВ, СО, С1, С2, С3, С4;

цинк - ЦВ, ЦО, Ц1, Ц2, Ц3, Ц4;

магний - Мг1, Мг2.

**Латуни.** По сравнению с чистой медью латуни имеют большую прочность, пластичность и твердость, они более жидкотекучи и коррозионностойки.

Кроме простой латуни, применяются специальные латуни с добавками железа, марганца, никеля, олова, кремния. Количество легирующих компонентов в специальных латунях не превышает 7-8%. Специальные латуни имеют повышенные механические свойства; некоторые из них по прочности не уступают среднеуглеродистой стали.

По ГОСТу латуни обозначаются буквой Л и цифрой, которая указывает количество меди в сплаве.

Обозначение легирующих компонентов следующее: **Ж** - железо; **Н** - никель; **О** - олово; **К** - кремний; **С** - свинец. Количество легирующего компонента указывается цифрами.

Латуни бывают литейные (применяемые для фасонного литья) и подвергаемые обработке давлением. Латунь применяют для изготовления листов, проволоки, гильз, штампованной арматуры, посуды.

**Бронзы** бывают: оловянные, алюминиевые, кремнистые, никелевые. Оловянные бронзы обладают высокой коррозионной стойкостью, хорошей жидкотекучестью и повышенными антифрикционными свойствами. Из них изготавливают отливки. Простые оловянные бронзы применяются редко, так как введением дополнительных элементов (цинка, свинца, никеля) можно достигнуть лучших свойств при меньшем содержании дефицитного олова.

По ГОСТу оловянные бронзы маркируются буквами БрО и цифрой, которая показывает содержание олова; последующие буквы и цифры показывают наличие и количество в бронзе дополнительных элементов. Для обозначения дополнительных элементов применяют те же буквы, что и при маркировке специальной латуни; цинк обозначается буквой Ц, а фосфор буквой Ф.

**Олово** - дорогой металл и в практике применяется редко. Заменителями оловянной бронзы являются алюминиевая, кремнистая, марганцовая и другие бронзы.

Алюминиевая бронза применяется с содержанием до 11 % Al. По структуре бронза в основном (до 9,7 % Al) однофазная и представляет твердый раствор алюминия в меди. По механическим свойствам алюминиевая бронза лучше оловянной, она обладает пластичностью, коррозионной стойкостью и износостойкостью.

**Недостаток** - большая усадка при охлаждении от жидкого состояния, а также в легком образовании окислов алюминия в жидкой бронзе, что ухудшает ее жидкотекучесть. Дополнительные элементы (железо, марганец) повышают ее механические свойства. Кремнистая бронза относится к однородным сплавам - твердым растворам, обладает высокими механическими и литейными свойствами. Заменяет оловянную бронзу. Для повышения свойств в кремнистые бронзы вводятся марганец, никель.

### ***3. Особенности обработки цветных металлов. Механическая обработка, обработка давлением, резание, сварка, пайка***

#### **Технологии обработки цветных металлов**

Обработку изделий осуществляют с учетом свойств металла, из которого они изготовлены. Большинство цветных металлов обладают высокой теплопроводностью, при нагревании проявляют снижение механических свойств и взаимодействует с атмосферными



газами, поэтому обрабатываются холодными или горячими, термическими или механическими методами. Например, холодная обработка выполняется в температурных условиях ниже температуры рекристаллизации, а горячая обработка — выше температуры рекристаллизации.

К числу самых распространенных обработок цветных металлов относятся **отливка, сварка, механообработка на металлорежущих станках и обработка давлением**. Последняя технология наиболее востребована в промышленности. Она охватывает прессовку, штамповку, прокатку, волочение и ковку.

**Прессовка.** Применяется для обработки алюминия, меди, свинца и олова. Заготовки продавливаются через матрицу. Прессовка используется в производстве труб, прутков и профилей разной сложности.

**Штамповка.** Изделия помещаются в металлические формы заданных параметров и изготавливаются под прессом.

**Прокатка.** Заготовки обрабатываются под давлением. Металл проходит между валками и вращается в разных направлениях. В результате меняется профиль заготовки и уменьшается площадь поперечного сечения. Таким способом получают рельсы, балки, изделия сортового и трубного металлопроката.

**Волочение.** Металл протягивается через матрицу в холодном виде. Технология направлена на сокращение площади поперечного сечения и увеличение длины заготовки. Улучшает свойства поверхности металла.

**Ковка.** Изделие приобретает форму в результате последовательных ударов инструментов по металлической заготовке. Различают ручную и машинную ковку. Первая используется в производстве мелких деталей, а вторая — на гидравлических прессах, пневматических или паровоздушных молотах.

**Сварка** -- это технологический процесс образования неразъемного соединения деталей машин, конструкций и сооружений путем их местного с плавлением или совместного деформирования, в результате чего возникают прочные связи между атомами (молекулами) соединяемых тел.

Существует много различных методов сварки, которые подразделяются на две основные группы: сварка плавлением и сварка пластическим деформированием. Остальные методы являются их разновидностями или комбинациями.

При **сварке плавлением** производится местный нагрев соединяемых деталей до температуры плавления и сварной шов образуется путем смешения жидких фаз металлов. При **сварке пластическим деформированием** шов образуется посредством сдавливания деталей. Она может производиться с предварительным местным нагревом деталей или без него (холодная сварка).

По способу местного нагрева деталей сварку подразделяют на **электрическую** (нагрев в результате действия электрического тока), **газовую** (нагрев пламенем горящего газа) и другие виды. Самыми распространенными способами электрической сварки является электродуговая и электроконтактная.

**Электродуговой** называют сварку, при которой для расплавления кромок соединяемых деталей используют теплоту электрической дуги, питаемой постоянным или переменным током

### **Обработка резанием**

Физическая сущность обработки металлов резанием заключается в удалении с заготовки поверхностного слоя металла в виде стружки, для того чтобы получить из заготовки деталь нужной формы, заданных размеров и обеспечить требуемое качество поверхности.

Для осуществления процесса резания необходимы два движения -- главное и вспомогательное, совершаемые инструментом и заготовкой (или одним из них) относительно друг друга. В различных видах обработки резанием эти движения выражаются по-разному. Например, в токарной обработке главным движением (движением резания) является вращение заготовки, а вспомогательным (движением подачи) -- поступательное движение резца; при фрезеровании движение резания -- это вращение фрезы, а подача осуществляется поступательным движением заготовки.

Процесс резания -- это скалывание частичек металла (элементов стружки) под действием силы, с которой режущая кромка резца вдавливаются в срезаемый слой.

Отделяемая стружка под действием давления резца деформируется: она укорачивается по длине и увеличивается по толщине. Это явление называется усадкой стружки.

Внешний вид стружки зависит от механических свойств металла и условий резания. Если обрабатываются вязкие металлы (олово, медь, мягкая сталь и т.д.), то стружка представляет собой непрерывную ленту. Такая стружка называется сливной. При обработке менее вязких металлов, например твердой стали, стружка образуется из отдельных элементов, слабо связанных между собой. Она называется стружкой скалывания. Если обрабатывается хрупкий металл, например чугун или бронза, то отдельные элементы стружки надламываются и отделяются от заготовки и друг от друга, Эта стружка называется стружкой надлома.

При обработке одного и того же материала тип стружки может изменяться в зависимости от скорости резания и других факторов

#### **Термическая обработка**

Процесс тепловой обработки металлов и сплавов в целях придания им заданной структуры и свойств.

#### **4. Изменение, улучшение технологических свойств цветных металлов путём термической обработки**

### **ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

**Термическая обработка цветных металлов и сплавов** — широко распространенный технологический процесс, обеспечивающий достижение большого разнообразия структур и улучшение физико-механических свойств. Термическая обработка алюминиевых и магниевых сплавов имеет много общего, отличие состоит в основном в режимах нагрева, выдержки и охлаждения. Алюминиевые и магниевые сплавы подвергают *отжигу, закалке и старению*.

**Отжигом** устраняется неравновесное состояние структуры, обуславливающее наличие нежелательных механических свойств. Гомогенизационному (диффузионному) отжигу подвергаются в основном литые слитки и изделия с неоднородной термодинамически неустойчивой структурой. В результате улучшается структура и повышается пластичность, что позволяет интенсифицировать обработку деталей давлением. Гомогенизация обычно является первой термической обработкой после получения заготовки.

*Рекристаллизационному отжигу* подвергаются изделия после операций холодного или горячего пластического деформирования. В результате получается мелкозернистая структура, значительно повышается пластичность при снижении твердости и прочности.

Отжиг с целью разупрочнения применяется для снятия упрочнения термически упрочненных закалкой и старением алюминиевых сплавов перед операциями холодного пластического деформирования.

**Закалка** алюминиевых и магниевых сплавов применяется для повышения прочности и возможности последующего упрочнения старением. В результате закалки в сплаве получается неравновесная структура однородного пересыщенного твердого раствора легирующих элементов в основном металле.

Естественное или искусственное старение закаленных алюминиевых и магниевых сплавов обеспечивают переход к определенным изменениям физико-механических свойств, в частности повышается прочность при снижении пластичности.

Медь и некоторые ее сплавы подвергаются отжигу для снятия наклепа, полученного при пластическом деформировании заготовок. Отжиг применяется перед последующими операциями пластического деформирования для повышения пластичности. Отжиг применяется также при снятии внутренних напряжений в отливках.

Закалка бронзы приводит к некоторому повышению ее пластичности и технологичности. Бронза после закалки обнаруживает небольшую способность к холодной обработке давлением.

**Титан и его сплавы подвергаются в основном отжигу, закалке и старению (отпуску).** Отжиг применяется для снятия наклепа, полученного при пластическом деформировании, для снятия внутренних напряжений, образующихся при сварке и механической обработке изделий. Для повышения прочности и твердости деталей из титановых

сплавов применяют упрочняющую термическую обработку — закалку с последующим старением, при этом пластичность снижается.

Цирконий и его сплавы подвергаются отжигу, закалке, отпуску. Отжиг применяется для снятия наклепа как промежуточная операция перед обработкой давлением и как окончательная операция с целью получения требуемых механических свойств и коррозионной стойкости. Закалка с последующим отпуском значительно увеличивает прочность изделия.

Для бериллия и его сплавов применяют отжиг с целью снятия наклепа после деформации, при этом характеристики прочности и пластичности не изменяются, а снимаются лишь внутренние остаточные напряжения.

Отжиг применяется также для многих тугоплавких металлов, таких как ванадий, ниобий, тантал, хром, молибден, вольфрам и их сплавов для снятия остаточных напряжений, при этом снижаются прочностные характеристики, но повышается пластичность.

Традиционные методы термической обработки не обеспечивают такое комплексное улучшение физико-механических свойств, а лишь качественно перераспределяют их характеристики — улучшают одни за счет ухудшения других. Например, повышение твердости приводит к ухудшению пластических свойств, или наоборот. Значительным недостатком обычных методов термообработки является интенсивно протекающий, особенно при высоких температурах, окислительный процесс.

За последние годы разработаны многие прогрессивные методы теплового воздействия на материалы, позволяющие улучшить качественные характеристики процесса: термическая обработка в контролируемых средах, в кипящем слое, в вакууме, в магнитном поле; термоциклическая обработка, закалка электронным лучом, закалка с ковкого нагрева под слоем жидкости и др.

При термической обработке деталей в контролируемых средах, в вакууме, в кипящем слое обеспечивается так называемая светлая закалка, т. е. предотвращается окисление поверхности обрабатываемых изделий. Термическая обработка деталей в кипящем слое повышает производительность труда. Кипящий слой, в частности из мелкозернистого огнеупорного материала, продуваемого сжигаемой газо-воздушной смесью, обеспечивает высокую скорость и равномерность нагрева и охлаждения. Термическая обработка деталей в магнитном поле обеспечивает значительное повышение прочности сталей, измельчение структуры, единообразную ориентацию кристаллов мартенсита во всех зернах. Магнитное поле накладывается на процесс в момент закалки, когда происходит аустенитно-мартенситное превращение.

Термоциклическая обработка заключается в неоднократном быстром нагреве и охлаждении изделий без выдержки. Однородность термообрабатываемого материала обеспечивается при традиционных методах выдержкой при высоких температурах, а при термоциклической обработке — многократным нагревом и охлаждением.

Термоциклическая обработка деталей может применяться взамен всех традиционных методов обработки. При этом производительность процесса возрастает, физико-механические свойства металлов и сплавов улучшаются во всем комплексе.

Дальнейшее развитие методов термической обработки пойдет по пути комбинированного воздействия на материал с наложением механического электрического, магнитного и термоциклического воздействий, которые смогут обеспечить повышение конструктивных физико-механических характеристик во всем комплексе параметров.

## ***5. Применение цветных металлов в виде порошков для изготовления машиностроительных изделий методом порошковой металлургии***

### **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 физикохимическими методами.

При механических методах порошки вырабатывают измельчением (дробление, размол) 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<sup>3</sup> 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 вальками и формируется в заготовку, которая направляется в проходную печь для спекания, а затем прокатывается в чистовых вальках 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. Перечислить подгруппы цветных металлов (легкие, тяжелые и т.д.) и привести примеры.
2. Перечислить общие свойства цветных металлов.
3. Сплавы меди и способы получения.
4. Чем вызваны особенности термообработки цветных металлов?
5. Перечислите этапы технологического процесса порошковой металлургии

Тест по теме «Основные свойства и классификация стали»

**Задание:** Заполнить таблицу.

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_

	Подгруппы цветных металлов						
	Легкие	Тяжелые	Благородные	Тугоплавкие	Рассеянные	Редкоземельные	Радиоактивные
Примеры металлов							
Где применяются.							

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата проверки: \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя: \_\_\_\_\_

### Практическая работа 14

#### Тема 3.4. Неметаллические материалы

Тест создать пару **Наименование – Определение**  
по теме Неметаллические материалы. (в виде таблицы)

#### Цель:

- изучить свойства материалов. Контроль знаний по теме.

#### Ход занятия:

- изучить теоретический материал;

- изучить учебную литературу по теме занятия;
- выполнить тестовое задание.

### Тема 3.4. Неметаллические материалы

**1. Классификация неметаллических материалов по назначению: конструкционные (пластмасс, древесина, резина и керамика) и специальные (жидкие, твердые и газообразные - масла, смазки, клеи, герметики, лаки и др.)**

#### **Классификация неметаллических материалов**

Неметаллические конструкционные (и иные) материалы — это большая группа материалов, изготовленных из *органического* и *неорганического* (минерального) сырья.

К *органическому сырью* относятся древесина и продукты из нее, шерсть, волокна, кость, каучук и др., к *неорганическому сырью* — газ, нефть, воздух, вода, алмаз, глина, кварц, мрамор и различные горные породы.

Из каждого вида сырья производится большая группа неметаллических конструкционных материалов, применяемых в различных отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, на транспорте, в медицине, культуре, пищевой промышленности, быту и др.: пластмассы, слоистые пластики, стекло, красители, клеи, лаки, бумага, картон, шерстяные и хлопчатобумажные нити и ткани, строительные конструкции из древесины, заготовки для мебели, фанера, художественные изделия из кости и рога и др. По способу производства (переработки) неметаллические конструкционные материалы подразделяются на следующие группы:

- материалы, полученные путем химической технологии (поликонденсация, полимеризация, вулканизация, синтез и другие виды химической обработки);
- материалы, полученные путем термической и термомеханической обработки (литье, спекание, штамповка, прессование и др.);
- материалы, полученные путем механической обработки (пиление, строгание, лущение, фрезерование, сверление, штамповка и др.);
- материалы, полученные путем комбинированной технологии, заключающейся в использовании двух и более перечисленных технологий (химической и термической, химической и механической).

Неметаллические материалы обладают большой гаммой физических, химических, механических, технологических и эксплуатационных свойств. Из-за широкого диапазона свойств неметаллические материалы находят все большее применение (в технике, быту, медицине, судостроении и автомобилестроении и т.д.), в одних случаях как незаменимый **конструкционный материал**, в других — как **режущий абразивный инструмент**, в третьих — как **химические** (кислоты, реактивы и т. д.) и **технологические жидкости**, лаки, клеи, смазки, минеральное топливо и др.

Неметаллические материалы, полученные химической технологией, подразделяются на две группы:

**полимерные материалы** (волокна и ткани, полиэтилен, полиамиды, пластмассы, смолы, клеи, краски) и химические жидкости и продукты (реактивы, медицинские препараты, взрывчатые вещества, продукты нефтехимии).

Путем термической и термомеханической технологий получают следующие материалы на основе минералов: графит, алмаз искусственный, абразивы, асбест, графитоуглеродные материалы, керамика и ситаллы, огнеупоры, каменное литье, стекло, волокна и искусственные ткани

**2. Неметаллические материалы, используемые в машиностроении: материалы неорганического происхождения (керамические материалы, минеральное стекло и силикаты, материалы на основе асбеста, слюды, каолина) и материалы органического происхождения**

К неорганическим полимерным материалам относятся минеральное стекло, ситаллы, керамика и др. Этим материалам присущи негорючесть, высокая стойкость к нагреву,

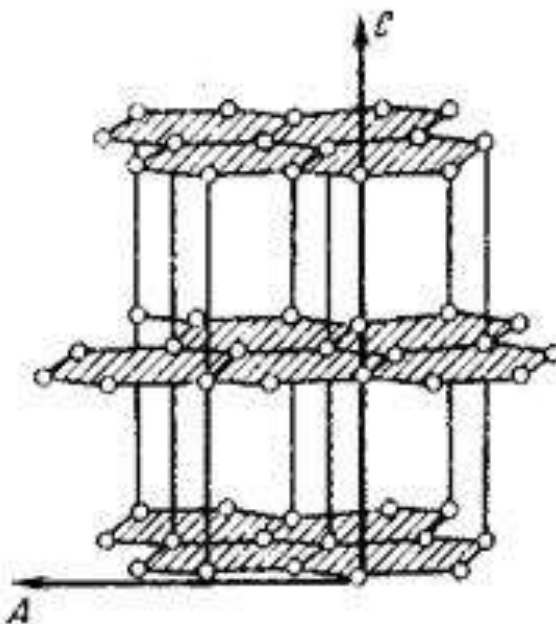
химическая стойкость, неподверженность старению, большая твердость, хорошая сопротивляемость сжимающим нагрузкам. Однако они обладают повышенной хрупкостью, плохо переносят резкую смену температур, слабо сопротивляются растягивающим и изгибающим усилиям имеют большую плотность по сравнению с органическими полимерными материалами.

Основой неорганических материалов являются главным образом оксиды и бескислородные соединения металлов. Поскольку большинство неорганических материалов содержит различные соединения кремния с другими элементами, эти материалы объединяют общим названием силикатные. В настоящее время применяют не только соединения кремния, но и чистые оксиды алюминия, магния, циркония и другие, обладающие более ценными техническими свойствами, чем обычные силикатные материалы.

В группу неорганических полимеров входит также графит. Неметаллические материалы подразделяют на графит, неорганическое стекло, стеклокристаллические материалы — ситаллы и керамику.

### Графит

Графит является одной из аллотропических разновидностей углерода. Это полимерный материал кристаллического пластинчатого строения. Он образован параллельными слоями гексагональных сеток.



Кристаллическая решетка графита

В узлах каждой ячейки располагаются атомы углерода. Межатомное расстояние равно 0,143 нм. Между атомами действуют силы прочной ковалентной связи. Отдельные плоскости расположены на расстоянии 0,335 нм и связаны между собой ван-дер-ваальсовыми силами. Слоистая структура графита и слабая связь между соседними плоскостями обуславливают анизотропию всех свойств кристаллов графита во взаимно перпендикулярных направлениях. Между отдельными пластинками в решетке графита имеются свободные электроны, сообщающие графиту электро- и теплопроводность, металлический блеск.

Графит не плавится при атмосферном давлении, а при 3700°C сублимирует, минуя стадию плавления, с затратой значительной тепловой энергии на этот процесс.

Графит встречается в природе, а также получается искусственным путем. Качества природного графита невысоки, он содержит много примесей, порист, свойства почти изотропны. Поэтому его применяют лишь как антифрикционный материал и в электротехнике. Искусственные виды графита: технический и пиролитический. Эти виды графита обладают совершенной кристаллической структурой, высокой анизотропией свойств и являются высокотемпературными конструкционными материалами.

В качестве исходных материалов при производстве *технического графита* применяют твердое сырье — нефтяной кокс и каменноугольный пек в качестве связующего вещества. Заготовки формируются в процессе прессования или протяжки. Процесс графитизации осуществляется путем нагрева заготовок (обоженных при 1200°C) до 3000 С. Технический графит имеет степень анизотропии физико-механических свойств 3:1.

**Физико-механические** свойства искусственного графита. Свойства графита зависят от природы исходного сырья, технологии получения, плотности, степени ориентации кристаллов и др.

Графит легко расщепляется по плоскости спайности. Твердость его небольшая. Плотность пористого графита составляет 200—1200 кг/м<sup>3</sup>, конструкционного — 1500—1850 кг/м<sup>3</sup>, пирографита 960—2200 кг/м<sup>3</sup>. (Теоретическая плотность графита 2265 кг/м<sup>3</sup>.) Пористость может составлять 80 % и более.

Графит является очень хрупким материалом. Его прочность при сжатии выше, чем при изгибе и растяжении. Для графита характерно увеличение прочности и модуля упругости при нагреве. До температуры 2200—2400°C прочность технического графита повышается на 40—60 % и лишь при дальнейшем нагреве прочность теряется. При температуре выше 1700°C проявляется ползучесть, которая имеет небольшую скорость при 2300—2900°C и напряжении 30—10 МПа. Графит хорошо проводит теплоту, поэтому его можно использовать и как проводник теплоты, и как теплоизолятор. Графит устойчив к воздействию тепловых ударов. Сочетание особых свойств графита делает его перспективным материалом высокой жаропрочности и теплозащитным материалом.

В условиях применения графита при высоких температурах, когда теплоотдача излучением является решающим фактором теплообмена, большое значение имеет степень черноты поверхности материала. Степень черноты графитовых материалов составляет 0,7—0,9, она возрастает при нагреве и шероховатости поверхности.

Графит обладает хорошими антифрикционными свойствами ( $f = 0,28$ ), поэтому он применяется в качестве антифрикционных материалов, основным преимуществом которых является способность работать без смазывания в условиях высоких или низких температур, больших скоростей, агрессивных сред и т. п.

Недостатком графита является склонность его к окислению, начиная с температур 400—800°C, с выделением газообразных продуктов. Поэтому поверхность графита защищают введением легирующих добавок (Nb, Ta, Si), которые делают структуру графита мелкозернистой, повышают его твердость и прочность, или нанесением защитных покрытий. Применяют силицирование графита путем обработки его поверхности парами кремнезема (при этом на поверхности графита образуется карбид кремния, обладающий высокой твердостью и прочностью) или нанесением покрытия из керамики.

Графит применяют в высоконагреваемых конструкциях летательных аппаратов и их двигателей, в энергетических ядерных реакторах, в качестве антифрикционного материала и в виде углеграфитовых волокнистых изделий.

### **Неорганическое стекло**

Неорганическое стекло следует рассматривать как особого вида затвердевший раствор — сложный расплав высокой вязкости кислотных и основных оксидов.

Стеклообразное состояние является разновидностью аморфного состояния вещества. При переходе стекла из расплавленного жидкого состояния в твердое аморфное в процессе быстрого охлаждения и нарастания вязкости беспорядочная структура, свойственная жидкому состоянию, как бы «замораживается». В связи с этим неорганические стекла характеризуются неупорядоченностью и неоднородностью внутреннего строения.

Стеклообразующий каркас стекла представляет собой неправильную пространственную сетку, образованную кремнекислородными тетраэдрами SiO<sub>4</sub>.

В состав неорганических стекол входят стеклообразующие оксиды кремния, бора, фосфора, германия, мышьяка, образующие структурную сетку и модифицирующие оксиды натрия, калия, лития, кальция, магния, бария, изменяющие физико-химические свойства стекломассы. Кроме того, в состав стекла вводят оксиды алюминия, железа, свинца, титана, бериллия и др., которые самостоятельно не образуют структурный каркас, но могут частично



замещать стеклообразующие оксиды и этим сообщать стеклу нужные технические характеристики. В связи с этим промышленные стекла являются сложными многокомпонентными системами.

Стекла классифицируют по стеклообразующему веществу, по содержанию модификаторов и по назначению.

В зависимости от химической природы стеклообразующего вещества стекла подразделяют на силикатные ( $\text{SiO}_2$ ), алюмосиликатные ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ), боросиликатные ( $\text{B}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ), алюмоборосиликатные ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—B}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ), алюмофосфатные ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—P}_2\text{O}_5$ ) и др. По содержанию модификаторов стекла бывают щелочными (содержащими оксиды  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), бесщелочными и кварцевыми. По назначению все стекла подразделяют на технические (оптические, светотехнические, электротехнические, химико-лабораторные, приборные, трубные); строительные (оконные, витринные, армированные, стеклоблоки) и бытовые (стеклотара; посудные, бытовые зеркала и т. п.).

Технические стекла в большинстве относятся к алюмоборо-силикатной группе и отличаются разнообразием входящих оксидов. Стекла выпускаются промышленностью в виде готовых изделий, заготовок или отдельных деталей.

При нагреве стекло плавится в некотором температурном интервале, который зависит от состава. Свойства стекла, как и всех аморфных тел, изотропны. Плотность стекла колеблется от 2200 до 6500  $\text{кг/м}^3$  (для стекла с оксидами свинца или бария она может достигать 8000  $\text{кг/м}^3$ ).

Механические свойства стекла характеризуются высоким сопротивлением сжатию (500—2000 МПа), низким пределом прочности при растяжении (30-90 МПа) и изгибе (50-150 МПа). Модуль упругости высокий (45—100 МПа).

Важнейшими специфическими свойствами стекол являются их оптические свойства: светопрозрачность, отражение, рассеяние, поглощение и преломление света. Обычное неокрашенное листовое стекло пропускает до 90 %, отражает примерно 8 % и поглощает около 1 % видимого и частично инфракрасного света; ультрафиолетовое излучение поглощается почти полностью. Кварцевое стекло является прозрачным для ультрафиолетового излучения. Коэффициент преломления стекол составляет 1,47—1,96.

Термостойкость стекла характеризует его долговечность в условиях разных изменений температуры. Она определяется разностью температур, которую стекло может выдержать без разрушения при его резком охлаждении в воде. Для большинства видов стекол термостойкость колеблется от 90 до 170°C, а для кварцевого стекла она составляет 800-1000 °C. Химическая стойкость стекол зависит от образующих их компонентов: оксиды  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_6$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZnO}$  обеспечивают высокую химическую стойкость, а оксиды  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{BaO}$ , наоборот, способствуют химической коррозии стекла. Механическая прочность и термостойкость стекла могут быть повышены путем закалки и термического упрочнения.

**Закалка** заключается в нагреве стекла и последующем быстром и равномерном охлаждении в потоке воздуха или в масле. При этом сопротивление статическим нагрузкам увеличивается в 3—6 раз, ударная вязкость в 5—7 раз. При закалке повышается также термостойкость стекла.

**Термохимическое упрочнение** основано на глубоком изменении структуры стекла и свойств его поверхности. Стекло подвергается закалке в подогретых кремнийорганических жидкостях, в результате чего на поверхности материала образуются полимерные пленки; этим создается дополнительное, по сравнению с результатом обычной закалки, упрочнение. Повышение прочности и термостойкости можно получить травлением закаленного стекла плавиковой кислотой, в результате чего удаляются поверхностные дефекты, снижающие его качество.

Силикатные триплексы представляют собой два листа закаленного стекла (толщиной 2—3 мм), склеенные прозрачной эластичной полимерной пленкой. При разрушении триплекса образовавшиеся неострые осколки удерживаются на полимерной пленке. Триплексы бывают плоскими и гнутыми.

**Термопан** — трехслойное стекло, состоящее из двух стекол и воздушного промежутка между ними. Эта воздушная прослойка обеспечивает теплоизоляцию.

**Применение технических стекол.** Для остекления транспортных средств используют

преимущественно триплексы, термопан и закаленные стекла.

Оптические стекла, применяемые в оптических приборах и инструментах, подразделяют на кроны, отличающиеся малым преломлением, и флинты — с высоким содержанием оксида свинца и большими значениями коэффициента преломления.

Остекление кабин и помещений, где находятся пульты управления мартеновских и дуговых печей, прокатных станов и подъемных кранов в литейных цехах, выполняется стеклами, содержащими оксиды железа и ванадия, которые поглощают около 70 % инфракрасного излучения в интервале длин волн 0,7—3 мкм.

Кварцевое стекло вследствие высокой термической и химической стойкости применяют для изготовления тиглей, чаш, труб, наконечников, лабораторной посуды. Близкое по свойствам к кварцевому стеклу, но более технологичное кварцоподобное (кремнеземное) стекло используют для электроколёв, форм для точного литья и т. д.

### Ситаллы

Ситаллы получают на основе неорганических стекол путем их полной или частичной управляемой кристаллизации. Термин «ситаллы» образован от слов: стекло и кристаллы. За рубежом их называют стеклокерамикой, пирокерамами. По структуре и технологии получения ситаллы занимают промежуточное положение между обычным стеклом и керамикой. От неорганических стекол они отличаются кристаллическим строением, а от керамических материалов — более мелкозернистой и однородной микрокристаллической структурой. Ситаллы подразделяют на фотоситаллы, термоситаллы и шлакоситаллы.



### **Схема кристаллизации стекла при образовании ситаллов с помощью катализаторов**

*Фотоситаллы* получают из стекол литиевой системы с нуклеаторами — коллоидными красителями. Фотохимический процесс протекает при облучении стекла ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами, при этом внешний вид стекла не изменяется. Процесс кристаллизации происходит при повторном нагревании изделия.

*Термоситаллы* получают из стекол систем  $MgO—Al_2O_3—CaO—Al_2O_3—SiO_2$ . Кристаллическая структура ситалла создается только в результате повторной термообработки предварительно отформованных изделий.

Структура ситаллов многофазная, состоит из зерен одной или нескольких кристаллических фаз, скрепленных между собой стекловидной прослойкой. Содержание кристаллической фазы колеблется от 30 до 95 %. Размер кристаллов обычно не превышает 1—2 мкм. По внешнему виду ситаллы могут быть непрозрачными и прозрачными.

*Шлакоситаллы* получают на основе доменных шлаков и катализаторов (сульфаты, порошки железа и др.); вводятся соединения фтора для усиления ситаллизации.

В отличие от обычного стекла, свойства которого определяются в основном его химическим составом, для ситаллов решающее значение имеют структура и фазовый состав. Причина ценных свойств ситаллов заключается в их исключительной мелкозернистости, почти идеальной поликристаллической структуре. Свойства ситаллов изотропны. В них совершенно отсутствует всякая пористость. Усадка материала при его переработке незначительна. Большая абразивная стойкость делает их малочувствительными к поверхностным дефектам.

Плотность ситаллов лежит в пределах 2400—2950 кг/м<sup>3</sup>. Прочность ситалла зависит от температуры: до температуры 700—780°C прочность материала уменьшается незначительно, при более высоких температурах быстро падает. Жаропрочность ситаллов под нагрузкой составляет 800—1200 °C. Твердость их приближается к твердости закаленной стали (микротвердость 7000—10500 МПа). Они весьма износостойки. По теплопроводности ситаллы в результате повышенной плотности превосходят стекла. Стеклокристаллические материалы обладают высокой химической устойчивостью к кислотам и щелочам, не окисляются даже при высоких температурах. Они газонепроницаемы и обладают нулевым водопоглощением. Хорошие диэлектрики.

Применение ситаллов определяется их свойствами. Из ситаллов изготавливают подшипники, детали для двигателей внутреннего сгорания, трубы для химической промышленности, оболочки вакуумных электронных приборов, детали радиоэлектроники. Ситаллы используют в качестве жаростойких покрытий для защиты металлов от действия высоких температур. Их применяют в производстве текстильных машин, абразивов для шлифования, фильер для вытягивания синтетических волокон. Из ситаллов могут быть изготовлены лопасти воздушных компрессоров, сопла реактивных двигателей, они используются для изготовления точных калибров и оснований металлорежущих станков.

### **Керамика**

Керамика — неорганический материал, получаемый из отформованных минеральных масс в процессе высокотемпературного обжига. В результате обжига (1200—2500°C) формируется структура материала (спекание), и изделие приобретает необходимые физико-механические свойства.

Техническая керамика включает искусственно синтезированные керамические материалы различного химического и фазового состава; она обладает специфическими комплексами свойств. Такая керамика содержит минимальное количество или совсем не содержит глины. Основными компонентами технической керамики являются оксиды и бескислородные соединения металлов. Любой керамический материал является многофазной системой. В керамике могут присутствовать кристаллическая, стекловидная и газовая фазы.

Кристаллическая фаза представляет собой определенные химические соединения или твердые растворы. Эта фаза составляет основу керамики и определяет значения механической прочности, термостойкости и других ее основных свойств.

Стекловидная фаза находится в керамике в виде прослоек стекла, связывающих кристаллическую фазу. Обычно керамика содержит 1—10 % стеклофазы, которая снижает механическую прочность и ухудшает тепловые показатели. Однако стеклообразующие компоненты (глинистые вещества) облегчают технологию изготовления изделий.

Газовая фаза представляет собой газы, находящиеся в порах керамики; по этой фазе керамику подразделяют на плотную, без открытых пор и пористую. Наличие даже закрытых пор нежелательно, так как снижается механическая прочность материала.

Большинство видов специальной технической керамики обладает плотной спекшейся структурой поликристаллического строения, для ее получения применяют специфические технологические приемы.

**Органические материалы** — это предметы, сделанные из веществ растительного или животного происхождения — дерева, кожи, кости, хлопка находят широкое применение в повседневной жизни.

**Естественные материалы органического происхождения**, такие, как природные битумы, некоторые природные смолы и др., нашли в антикоррозионной технике ограниченное применение вследствие ряда своих недостатков (невысокая химическая стойкость, малая прочность, низкая температура плавления и др.)

### ***3. Пластические массы (пластики): область применения, основные характеристики. Порошкообразные, волокнистые и слоистые пластические массы***

#### **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).

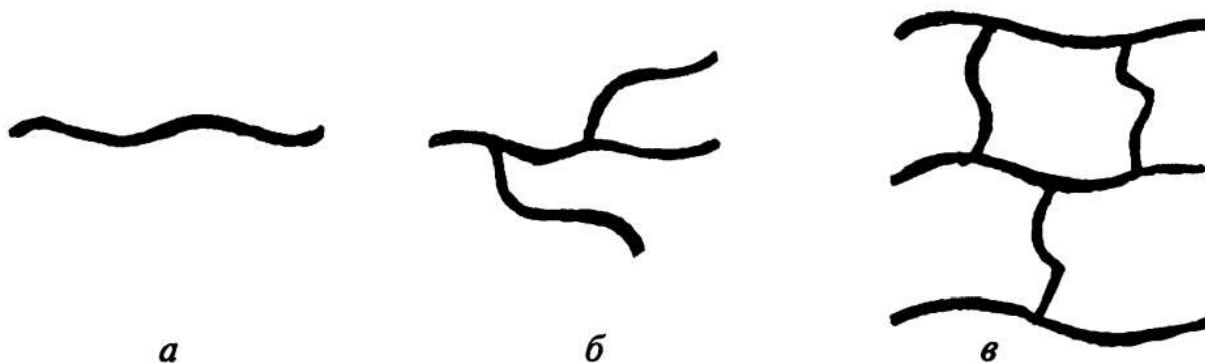


Рис. 34. Схемы строения полимерных цепей:  
а — линейных; б — разветвленных; в — сетчатых

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°C). 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 — состоянию *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 (эфирные кислоты 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.

Требуемый цвет изделиям из полимеров придают красители. Различают органические и неорганические красители (пигменты). В качестве красителей широко применяются оксиды металлов или соли металлов (синий кобальт, ультрамарин), сажа.

К специальным ингредиентам относят:

- технологические смазки, облегчающие извлечение полимерных изделий из пресс-формы;
- вещества, уменьшающие горючесть полимеров (антипирены);
- вещества, снижающие статическую электризацию полимеров (антистатика);
- 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, полиамилы, полиацетали, фторопласты, полиуретаны, а также фенолформальдегидные, эпоксидные, полиэфирные, кремнийорганические и полиамидные смолы.

**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 нагрузкам, 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 изготавливают детали повышенной прочности электроустановок для работы на воздухе и в трансформаторном масле.

**Гетинакс** изготавливают 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** изготавливают 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, электро-изоляционными и теплоизоляционными свойствами. Однако асботекстолит не следует подвергать действию температуры свыше 370°C 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 изготавливают 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.

**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** изготавливают 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 изготавливают кузова и другие крупногабаритные и высоконагруженные детали.

**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.

**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°C 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.

**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.

**Пластмассовые порошки** (ПФН-12 и ТПФ-37) применяются для выравнивания поверхности путем газопламенного напыления. Порошки ПФН-12 и ТПФ-37 относятся к термoplastикам. Они в распыленном состоянии обладают исключительно высокой адгезией к металлу, легко принимают любую форму, стойки к действию органических кислот, жирных углеводов, 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.

#### **Контрольные вопросы.**

1. Как характеризуются термореактивные полимеры?
2. Каким свойством обладают термопластичные полимеры?
3. Какие агрегатные состояния характерны для полимеров?
4. Каким образом достигается улучшение свойств полимерных материалов?
5. Приведите примеры слоистых полимеров.



Тест создать пару **Наименование – Определение** по теме Неметаллические материалы. (в виде таблицы)

Задание: Установите соответствие.

Группа \_\_\_\_\_

ФИО студента \_\_\_\_\_

	Наименование		Определение
1.	Неорганические материалы	А	шерсть, волокна, кость, каучук
2.	Неорганическое стекло	Б	волокна и ткани, полиэтилен, полиамиды, пластмассы, смолы, клеи, краски
3.	Искусственные полимеры	В	это слоистый полимерный материал, где в качестве наполнителя используется хлопчатобумажная ткань, а в качестве связующего — фенолформальдегидная смола.
4.	Органические материалы	Г	трехслойное стекло, состоящее из двух стекол и воздушного промежутка между ними
5.	Керамика	Д	соединения, которые не содержат в составе макромолекул атомов углерода
6.	Текстолит	Е	продукт синтеза — целенаправленного получения сложных веществ из более простых.
7.	Полимерные материалы	Ж	особого вида затвердевший раствор — сложный расплав высокой вязкости кислотных и основных оксидов
8.	Термопан	З	синтетические полимеры, обладающие высокой адгезией к металлам, стеклу, керамике и другим материалам.
9.	Неорганические полимеры	И	продукт полученный путем обработки (модифицирования) природных полимеров
10.	Синтетические полимеры	К	неорганический материал, получаемый из отформованных минеральных масс в процессе высокотемпературного обжига.
11.	Эпоксидные смолы	Л	газ, нефть, воздух, вода, алмаз, глина, кварц, мрамор и различные горные породы

Оценка: \_\_\_\_\_

Дата проверки: \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя: \_\_\_\_\_

### Информационное обеспечение обучения

#### Перечень учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

##### Основные источники:

1. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А., Иголкин А.Ф. Материаловедение учебник.- Москва Издательский центр «Академия», 2016
2. Основы материаловедения (металлообработка) учебник. / под редакцией В.Н. Заплатаина. / Москва Издательский центр «Академия», 2017

##### Дополнительные источники:

1. Барташевич А.А. Материаловедение. - Ростов Н/Д.: Феникс, 2011.
2. Вишневецкий Ю.Т.. Материаловедение для технических колледжей: учебник. - М.: Дашков и ко, 2014.
3. Материаловедение: учебник для СПО. / Адашкин А.М. и др. под ред. Соломенцева Ю.М. - М.: Высш. Шк., 2012.

4. Материаловедение: учебник для СПО. / под ред. Батиенко В.Т. - М.: ИНФРА-М, 2013.
5. Моряков О.С. Материаловедение: учебник для СПО. - М.: Академия, 2013.
6. Чумаченко Ю.Т. Материаловедение: учебник для СПО. - Ростов н/д.: Феникс, 2012.
7. Материаловедение. / под редакцией члена-корреспондента РАН Ю.М. Соломенцева. / Москва. «высшая школа» 2005.
8. А.А. Черепяхин. Материаловедение учебник. / Москва Издательский центр «Академия», 2014

**Интернет – ресурсы:**

1. <http://www.materialscience.ru/>
2. <http://supermetalloved.narod.ru>
3. <http://www.knigka.info/2009/04/20/smazochno-okhlazhdajushhie.html>
4. <http://www.kodges.ru/42609-smazochno-oxlazhdayushhie-texnologicheskie.html>
5. <http://www.sprinter.ru/books/1665853.html>
6. [http://books.iqbuy.ru/categories\\_catalog/biblion/tehnika-medicsina/tehnicheskie-nauki-v-tselom/obshchetehnicheskie-distsipliny/materialovedenie](http://books.iqbuy.ru/categories_catalog/biblion/tehnika-medicsina/tehnicheskie-nauki-v-tselom/obshchetehnicheskie-distsipliny/materialovedenie)

Преподаватель

Евстафьев А.Е.