



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторному практикуму
по дисциплине

«Общее материаловедение и технологии материалов»

Авторы
Бровер Г.И.,
Бровер А.В.

Ростов-на-Дону, 2014



Аннотация

Методические указания разработаны для студентов направления 150100, а также для студентов, изучающих курсы «Материаловедение», «Материаловедение и технология конструкционных материалов» и др., и предназначены для практического освоения приемов получения, обработки и модифицирования машиностроительных материалов.

Авторы

д.т.н., профессор Бровер Г.И.,

к.т.н., доцент Бровер А.В.





Оглавление

Лабораторная работа №1	4
Лабораторная работа №2	15
Лабораторная работа №3	28
Лабораторная работа №4	45
Лабораторная работа №5	60
Лабораторная работа №6	76
Лабораторная работа №7	85
Лабораторная работа №8	92
Лабораторная работа №9	108
Лабораторная работа №10	114
Лабораторная работа №11	122
Лабораторная работа №12	130
Лабораторная работа №13	138
Лабораторная работа №14	149
Лабораторная работа №15	158



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ОТОЖЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение микроструктуры углеродистой стали в отожженном состоянии.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Отожженное (равновесное) состояние достигается только при медленном охлаждении, обеспечивающем полное завершение всех фазовых превращений согласно диаграмме состояния железо-цементит. Поэтому ее знание необходимо для успешного изучения микроструктуры углеродистой стали в отожженном состоянии.

Углеродистой сталью в соответствии с диаграммой состояния железо-цементит называется железоуглеродистый сплав, содержащий от 0,025 до 2,14%С (последние данные 2,06%С). Кроме железа и углерода, промышленная углеродистая сталь содержит постоянные, технологически необходимые при ее производстве, примеси, такие, как кремний (до 0,5%), марганец (до 0,8%), сера (0,05%), фосфор (0,05%), кислород (0,004%) и др. Малое содержание постоянных примесей в углеродистой стали позволяет рассматривать происходящие в ней процессы образования тех или иных фаз и структур, как в двойных сплавах, по диаграмме состояния железо-цементит.

При нормальной (комнатной) температуре сталь состоит из следующих фаз - феррита и цементита, образующих однофазные - феррит и цементит и двухфазную структурную составляющую - перлит.

Феррит представляет собой ограниченный твердый раствор внедрения углерода в железе, имеет объемноцентрированную кубическую кристаллическую решетку, твердость $HV=600\text{--}800$ МПа, очень пластичен, ферромагнитен до температуры 768°C . На диаграмме состояния железо-цементит занимает две области АНН и GPQ. Растворимость углерода в феррите весьма мала (0,025% при $t=727^{\circ}\text{C}$; 0,0067% при $t=20^{\circ}\text{C}$) и связана,



Общее материаловедение и технологии материалов

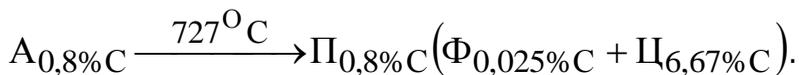
по-видимому, лишь с размещением атомов углерода в дефектных местах кристаллической решетки растворителя - железа. При наблюдении в микроскоп феррит имеет вид однородных зерен светлой или зачастую различной окраски, что объясняется неодинаковой травимостью зерен, срезанных по различным кристаллографическим плоскостям при изготовлении микрошлифа (анизотропия свойств кристаллов).

Цементит - химическое соединение Fe_3C представляет собой карбид железа, содержащий 6,67% углерода, имеет сложную кристаллическую решетку с плотной упаковкой атомов, обладает высокой твердостью $HV=10000$ МПа и хрупкостью. При наблюдении в микроскоп после обычного травления с использованием универсального реактива - (4% раствора азотной кислоты в этиловом спирте) цементит, как и феррит, выглядит в виде светлых участков. Вследствие слабой растворимости цементита в кислотах его участки в структуре выступают над окружающим ферритом и остаются более гладкими и блестящими по сравнению с ферритом. Для четкого выявления цементита можно применять специальное травление пикратом натрия, после которого цементит окрашивается в темный цвет, а феррит остается светлым.

Различают первичный цементит (C_I), выделяющийся в виде игл или пластин при первичной кристаллизации из жидкой фазы в интервале температур линии CD диаграммы состояния железо-цементит ($1252-1147^{\circ}C$) у сплавов, содержащих более 4,3% C; вторичный цементит (C_{II}), выделяющийся при вторичной кристаллизации из аустенита в виде сетки по границам его зерен в интервале температур линии ES ($1147-727^{\circ}C$) у сплавов с содержанием углерода более 0,8%; третичный цементит (C_{III}), выделяющийся из феррита в виде сетки по границам его зерен в интервале температур линии PQ ($727-20^{\circ}C$) у всех сплавов, содержащих более 0,0067% углерода.

Перлит представляет собой эвтектоидную смесь двух фаз - феррита и цементита, которая образуется при температуре линии PSK диаграммы ($727^{\circ}C$) в результате эвтектоидного превращения

по реакции



Выявленный металлографически в связи с наличием межфазных границ как смесь, перлит во своей природе представляет собой бикристаллическое образование, двухфазный бикристалл, т.е. сросток сильно разветвленных кристаллов разных фаз.

В зависимости от цементита различают пластинчатый перлит с межпластиночным расстоянием более 0,3 мкм, получаемый в результате отжига, и зернистый, получаемый путем специальной термической обработки. Твердость HB пластинчатого и зернистого перлита составляет соответственно 2000-2500 МПа и 1600-2200 МПа и зависит от степени измельченности (дисперсности) цементита. Другие характеристики механических свойств перлита также обуславливаются свойствами его фазовых составляющих и зависят от степени дисперсности цементита. Чем крупнее составляющие перлит пластины цементита и феррита, тем ниже уровень его механических свойств, причем у крупнопластинчатого перлита снижаются характеристики и прочности, и пластичности. После обычного травления при наблюдений в микроскоп пластинчатый перлит выглядит в виде чередующих светлых пластин феррита и цементита, причем ширина цементитных пластин приблизительно в 7 раз меньше ширины пластин феррита. При уменьшении увеличения микроскопа в связи со слиянием растравленных границ между ферритом и цементитом последний выглядит в виде темных пластин, почему очень часто на схеме микроструктуры перлит изображают в виде чередующихся светлых пластин феррита и темных пластин цементита. При совсем малых увеличениях перлит наблюдается в виде зерен серого цвета. Зернистый перлит под микроскопом наблюдается в виде светлых включений округлой формы на светлом фоне феррита. Строение перлита целесообразно рассматривать при увеличениях не менее 500 раз.

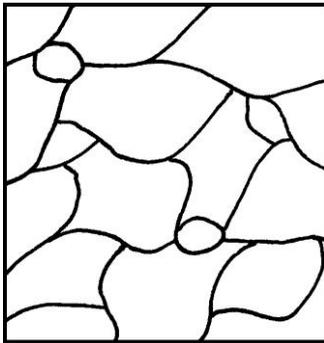


2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ОТОЖЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

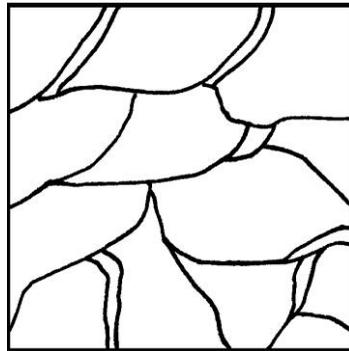
В соответствии с диаграммой состояния железо-цементит углеродистая сталь разделяется на доэвтектоидную, содержащую более 0,025 и менее 0,8% углерода; эвтектоидную, содержащую 0,8% углерода; заэвтектоидную, содержащую более 0,8 и менее 2,14% углерода. Сплавы с содержанием углерода до 0,025% называют техническим железом.

2.1. Микроструктура технического железа

Техническое железо с содержанием углерода менее 0,0067%С, например электролитическое железо, является однофазным и под микроскопом имеет вид светлых однородных зерен феррита (рисунок 1,а). Техническое железо с содержанием углерода более 0,0067% является двухфазным и состоит из феррита и третичного цементита (рисунок 1,б), выделяющегося в соответствии с линией PQ диаграммы состояния железо-цементит.



а)



б)

Рисунок 1 - Схема микроструктуры технического железа с содержанием углерода менее 0,0067% (а, феррит) и более 0,0067% (б, феррит и третичный цементит). $\times 500$



2.2. Микроструктура доэвтектоидной углеродистой

стали

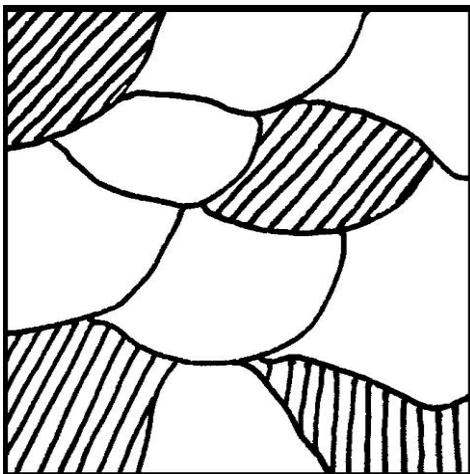


Рисунок 2 - Схема микроструктуры доэвтектоидной углеродистой стали. Феррит и перлит. $\times 500$

Микроструктура доэвтектоидной углеродистой стали в отожженном состоянии при нормальной температуре состоит из зерен феррита и перлита (рисунок 2). Феррит выделяется при охлаждении из аустенита ниже линии GS диаграммы состояния железо-цементит. В результате этого процесса содержание углерода в аустените достигает 0,8% и при температуре линии PSK (727°C) по эвтектоидной реакции аустенит превращается в перлит.

С увеличением содержания углерода объемная доля перлита в доэвтектоидной стали увеличивается, а феррита - уменьшается.

2.3. Микроструктура эвтектоидной углеродистой

стали

Микроструктура эвтектоидной углеродистой стали в отожженном состоянии при нормальной температуре состоит из зерен пластинчатого перлита (рисунок 3). В соответствии с диаграммой состояния железо-цементит перлит образуется в результате эвтектоидной реакции при температуре линии PSK (727°C). Эвтектоидная двухфазная феррито-цементитная смесь называется



перлитом в связи с перламутровым видом микрошлифа после травления при наблюдении в микроскоп.

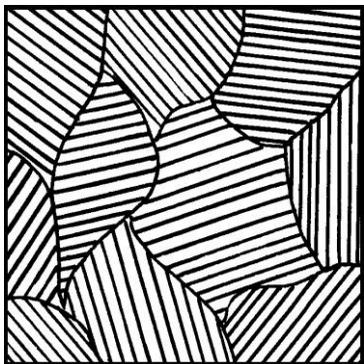


Рисунок 3 - Схема микроструктуры эвтектоидной углеродистой стали. Перлит. $\times 500$

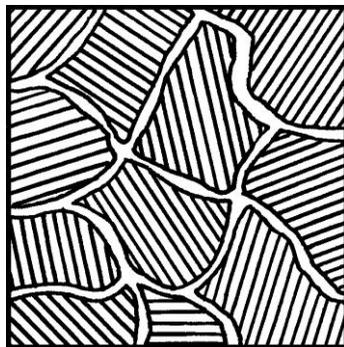
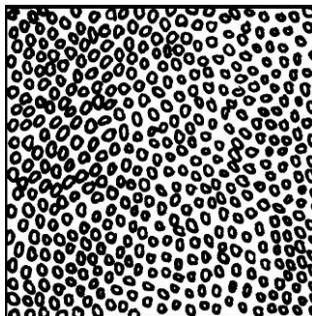


Рисунок 4 - Схема микроструктуры заэвтектоидной углеродистой стали. Перлит и вторичный цементит. $\times 500$

2.4. Микроструктура заэвтектоидной углеродистой стали

В заэвтектоидной углеродистой стали при температурах ниже линии ES диаграммы состояния железо-цементит из аустенита выделяется вторичный цементит. При этом содержание углерода в аустените уменьшается в соответствии с линией ES и при температуре линии PSK (727°C) становится равным 0,8%. Аустенит с содержанием 0,8% углерода в результате эвтектоидной реакции превращается в феррито-цементитную смесь - перлит. Поэтому после окончания охлаждения микроструктура заэвтекто-



идной углеродистой стали будет состоять из перлита и вторичного цементита, расположенного в виде сетки по границам зерен пластинчатого перлита (рису-



Рисунок 5 -Схема микроструктуры заэвтектоидной углеродистой стали после специальной термической обработки. Зернистый перлит. $\times 500$

нок 4).

2.5. Микроструктура стали с зернистым перлитом

Микроструктура зернистого перлита, получаемого часто путем специальной термической обработки высокоуглеродистой заэвтектоидной стали - отжига на зернистый перлит, представлена на рисунке 5.



2.6. Видманштеттова структура (микроструктура) стали

Структуру с характерной формой феррита в виде игл и пластин в доэвтектоидной углеродистой стали или вторичного цементита в заэвтектоидной углеродистой стали принято называть видманштеттовой (ри-



Общее материаловедение и технологии материалов

Рисунок 6 - Схема микроструктуры доэвтектоидной углеродистой стали после сильного перегрева при отжиге. Феррит в виде игл (видманштеттова структура). $\times 500$

сунок 6). Такая структура наблюдается в литой стали, медленно охлажденной из области высоких температур, или в стали, сильно перегретой при отжиге и других видах обработки. Видманштеттова структура отличается крупнозернистостью, очень низкими значениями характеристик механических свойств и определенным расположением феррита и цементита по кристаллографическим плоскостям внутри зерен аустенита, а затем перлита.

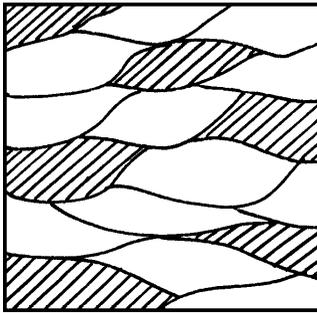


Рисунок 7 - Схема микро-структуры доэвтектоидной углеродистой стали после прокатки. Строчечная структура. Феррит и перлит. $\times 350$

2.7. Микро-структура холодное-деформированной доэвтектоидной углеродистой стали (строчечная структура)

В результате холодной деформации, например, прокатки, возникает ориентированность в расположении зерен. Такую структуру называют строчечной. Строчечная структура доэвтектоидной углеродистой стали после прокатки представлена на рисунке 7.

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Уясните цель работы.
- 3.2. Изучите особенности формирования структуры углеродистой стали при охлаждении из жидкого состояния в равновесных условиях.
- 3.3. Изучите микроструктуру углеродистой стали в отожженном состоянии.
- 3.4. Изобразите схемы микроструктур углеродистой стали в отожженном состоянии.
- 3.5. Выполните микроструктурный анализ углеродистой стали в отожженном состоянии.
- 3.6. Проследите за формированием структуры углеродистой стали одного из составов при охлаждении из жидкого состояния.



3.7. Составьте отчет о работе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Цель работы.
- 4.2. Определение углеродистой стали.
- 4.3. Классификация углеродистой стали.
- 4.4. Определение структурных составляющих углеродистой стали в отожженном состоянии.
- 4.5. Схемы микроструктур углеродистой стали в отожженном состоянии.
- 4.6. Микроструктурный анализ углеродистой стали в отожженном состоянии.
- 4.7. Схемы вероятных микроструктур одного из составов углеродистой стали в процессе охлаждения из жидкого состояния.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 5.1. Какой сплав называется углеродистой сталью?
- 5.2. Что представляют собой структурные составляющие стали - феррит, цементит, перлит и какими основными свойствами они обладают?
- 5.3. Какие сплавы называются техническим железом, доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталью?
- 5.4. Чем отличается по микроструктуре пластинчатый перлит от зернистого?
- 5.5. В чем состоит различие между микроструктурами доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали в отожженном состоянии?
- 5.6. В чем состоит понятие вторичный и третичный цементит?
- 5.7. Каким путем достигается отожженное (равновесное) состояние стали?
- 5.8. Какие структуры называются видманштеттовыми?
- 5.9. В каких случаях появляется видманштеттова структура?
- 5.10. В каких случаях появляется строчечная структура?



РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.:Металлургия, 1986. 544 с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.:Металлургия. 1984. 360 с.
3. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. М.:Металлургия, 1989. 456 с.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОМ СОСТОЯНИИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ - изучение микроструктуры углеродистой стали в термически обработанном состоянии.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Целью термической обработки стали является изменение свойств путем изменения ее фазового состава и структуры. Термическая обработка стали заключается в нагреве выше или ниже критических точек стали, выдержке её в нагретом состоянии и последующем охлаждении с заданной скоростью. В зависимости от условий охлаждения из аустенитного состояния возможно образование различных фазовых и структурных составляющих.

При небольших скоростях охлаждения развивается диффузионное аустенито-перлитное превращение, продуктами которого являются двухфазные структурные составляющие: перлит, сорбит, троостит, представляющие собой феррито-цементитные смеси различной степени дисперсности образующих их кристаллов. Наибольшей степенью дисперсности (наименьшим размером кристаллов) и, как следствие наиболее высоким уровнем механических свойств обладает троостит. Наименьшую степень дисперсности имеет перлит. Твердость перлита HRC10, сорбита HRC25, троостита HRC 40. Феррито-цементитные смеси (перлит, сорбит, троостит), полученные в результате диффузионного превращения аустенита, имеют пластинчатое строение. После обычного травления с использованием универсального реактива - 4% раствора азотной кислоты в этиловом спирте при наблюдении в световой микроскоп при увеличении более 500 раз пластинчатый перлит выглядит в виде чередующихся светлых пластин феррита и цементита, причем ширина цементитных пластин приблизительно в 7 раз меньше ширины пластин феррита. При уменьшении увеличения микроскопа в связи со слиянием растравленных границ между ферритом и цементитом, последний выглядит в виде тем-



ных пластин, поэтому очень часто на схеме микроструктуры перлит изображают в виде чередующихся светлых пластин феррита и темных пластин цементита. При совсем малых увеличениях перлит наблюдается в виде зерен серого цвета. Двухфазное пластинчатое строение троостита не выявляется при увеличениях светового микроскопа, эта структурная составляющая наблюдается в виде зерен темного цвета. Различие в строении сорбита и троостита отчетливо обнаруживается при исследовании с помощью электронного микроскопа.

Равновесная структура стали, соответствующая диаграмме состояния железо-цементит, формируется в результате отжига, заключающегося в нагреве стали выше критических точек, выдержке в нагретом состоянии и последующем медленном (вместе с печью) охлаждении. Такой отжиг с фазовой перекристаллизацией называют отжигом 2-го рода в отличие от отжига 1-го рода без фазовой перекристаллизации. В зависимости от степени полноты перекристаллизации стали различают полный отжиг (нагрев выше линии GSE на 30-50⁰С в однофазную область аустенита) или неполный (нагрев выше линии PSK на 30-50⁰С в двухфазные области: аустенит+феррит и аустенит+вторичный цементит соответственно для до- и заэвтектоидной стали). В результате полного отжига доэвтектоидная сталь приобретает мелкозернистую равновесную структуру феррита и перлита с высокой пластичностью и вязкостью. Для заэвтектоидных сталей полный отжиг с нагревом выше линии SE (точка A_{cm}), как правило, не производится, так как при этом вторичный цементит выделяется в виде сплошной сетки по границам зерен. Сталь с такой структурой обладает повышенной хрупкостью, а также большей склонностью к деформациям и трещинам при закалке.

Разновидностями отжига 2-го рода являются также отжиг на зернистый перлит - нагрев выше точки A_{c1} на 10-30⁰С, выдержка при этой температуре и последующее медленное охлаждение (от 740-760 до 620-680⁰С со скоростью порядка 30-50⁰С/ч) и нормализационный отжиг (нормализация) - нагрев доэвтектоидной стали на 30-50⁰С выше точки A_{c3} и заэвтектоид-



ной - на 30-50^oC выше точки A_{cm} , выдержка при этой температуре и последующее ускоренное охлаждение на спокойном воздухе.

Отжигу на зернистый перлит могут подвергаться эвтектоидная, до- и заэвтектоидные стали. Установлено, что однородный (гомогенный) аустенит при охлаждении превращается в пластинчатый перлит, неоднородный аустенит - в зернистый перлит, представляющий собой при наблюдении в микроскоп светлые округлой формы цементитные включения на белом фоне феррита. Температура нагрева при отжиге на зернистый перлит не обеспечивает полную гомогенизацию аустенита. В стали сохраняются микрообъемы аустенита с повышенным содержанием углерода - не растворившиеся полностью при нагреве частицы цементита, которые и служат центрами кристаллизации цементита глобулярной формы. Зернистый перлит по сравнению с пластинчатым обладает несколько пониженной твердостью, но более высокими значениями характеристик пластичности, а также меньшей склонностью к образованию трещин и деформаций при закалке.

Нормализация доэвтектоидной стали, как и полный отжиг, вызывает полную перекристаллизацию стали, но охлаждение при этом производится с несколько повышенной скоростью, в связи с чем перлит становится более дисперсным, тонкопластинчатым и несколько уменьшается размер зерен феррита и перлита. При этом незначительно увеличиваются твердость, характеристики прочности и уровень внутренних напряжений. Поэтому крупные детали и слитки целесообразно подвергать полному отжигу. Для заэвтектоидных сталей нормализацию применяют с целью устранения сетки вторичного цементита. Растворенный при нагреве стали выше точки A_{cm} в аустените вторичный цементит при последующем ускоренном охлаждении не успевает выделиться в виде сплошной сетки по границам зерен аустенита.

При больших скоростях охлаждения, превышающих так называемую критическую скорость закалки (определяемую как касательную к кривой начала диффузионного превращения аустенита на термокинетической диаграмме), происходит сдвиго-



вое бездиффузионное мартенситное превращение, лежащее в основе закалки. Последняя заключается в нагреве стали выше критических точек, выдержке в нагретом состоянии и последующем быстром охлаждении с закритической скоростью. В результате закалки формируется однофазная структурная составляющая - мартенсит, представляющий собой пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе и имеющий объемноцентрированную тетрагональную кристаллическую решетку. В связи со сдвиговым характером мартенситного превращения содержание углерода в мартенсите равно содержанию углерода в исходном аустените. Мартенсит имеет характерное игольчатое строение, обычно с определенной ориентировкой игл (под углами 60 и 120°). Удельный объем мартенсита больше, чем аустенита. Поэтому по мере образования мартенсита аустенит испытывает возрастающее всестороннее сжатие, и на определенной стадии развитие мартенситного превращения прекращается. В связи с этим в структуре стали наряду с мартенситом имеется небольшое количество так называемого остаточного аустенита. Его количество в сталях с содержанием углерода более 0,6% может быть значительным в связи с тем, что температура конца мартенситного превращения M_k этих сталей лежит ниже нормальной (комнатной).

Различают полную (нагрев выше линии GSE на 30-50°C в однофазную область аустенита) или неполную (нагрев выше линии PSK на 30-50°C в двухфазные области: аустенит+феррит или аустенит+цементит соответственно для до- и заэвтектидной стали) закалку.

На практике для повышения твердости, прочности применяют полную закалку доэвтектидной стали и неполную для заэвтектидной. В последнем случае не происходит растворение вторичного цементита в аустените, рост аустенитного зерна, значительное пересыщение мартенсита углеродом, формирование структуры крупноигольчатого мартенсита с большим количеством остаточного аустенита (30% и более), снижающего твердость стали. При охлаждении со скоростью ниже критической возможно



Общее материаловедение и технологии материалов

получение смешанной структуры, состоящей из продуктов перлитного и мартенситного превращений (троостита и мартенсита). Их соотношение можно оценить, используя методы количественной металлографии.

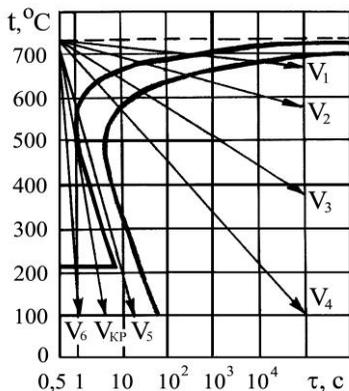


Рисунок 1 -Термокинетическая диаграмма превращения аустенита эвтектоидной стали

Поскольку условия охлаждения стали из аустенитного состояния определяют образование различных структурных составляющих, то, наложив кривые охлаждения на термокинетическую диаграмму (диаграмму превращения аустенита при непрерывном охлаждении) можно оценить вероятное структурное состояние (рисунок 1). При охлаждении со скоростью V_1 и V_2 (соответственно полный и нормализационный отжиг) формируется структура перлита, при охлаждении со скоростью V_3 и V_4 образуется сорбит и троостит.

В случае охлаждения со скоростью V_6 , превышающей критическую скорость заковки $V_{кр}$ образуется мартенсит. Если же скорость охлаждения V_5 меньше $V_{кр}$, но больше V_4 , то структура является смешанной, состоящей из мартенсита и троостита.

Полученная в результате закалки мартенситная структура обладает значительным уровнем остаточных напряжений, высокой твердостью, прочностью и хрупкостью. Поэтому для снижения остаточных напряжений закаленную сталь подвергают отпуску,



закрывающемуся в нагреве закаленной стали ниже критической точки A_{C1} , выдержке при этой температуре и последующем (обычно на воздухе) охлаждении. Неравновесная однофазная структура мартенсита постепенно переходит в более равновесное структурное состояние мартенсита отпуска (при низком отпуске 150-250°C), троостита отпуска (при среднем отпуске 350-450°C), сорбита отпуска (при высоком отпуске 550-650°C).

Мартенсит отпуска представляет собой слабо пересыщенный ($C \sim 0,25\%$) твердый раствор внедрения углерода в α -железе с когерентными его решетке выделениями ε -карбида переменного состава, обладающий большей способностью к травлению по сравнению с мартенситом. Наличие карбидной фазы в мартенсите отпуска выявляется методами электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Образующиеся при отпуске феррито-цементитные смеси - троостит отпуска и сорбит отпуска - имеют зернистое строение в связи с округлой формой частиц карбидной фазы в отличие от имеющих пластинчатое строение троостита и сорбита, образуемых в результате диффузионного превращения переохлажденного аустенита. Строение высокодисперсной смеси троостита практически не выявляется при микроструктурном исследовании вследствие высокой дисперсности кристаллов. Распад мартенсита на феррито-цементитную смесь происходит внутри кристаллов мартенсита, и в ряде случаев игольчатый характер структуры сохраняется до высоких температур отпуска, при нагреве выше 550-600°C игольчатая ориентировка исчезает.

2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОМ СОСТОЯНИИ

1. Микроструктура углеродистой стали после отжига 2-го рода.

Микроструктура доэвтектоидной углеродистой стали после полного отжига при нормальной температуре состоит из светлых зерен феррита и перлита: в виде чередующихся светлых пластин феррита и цементита (при больших увеличениях микроскопа), в виде чередующихся светлых пластин феррита и темных цементита (при средних увеличениях) и в виде серых участков (при малых



увеличениях) (рисунок 2).

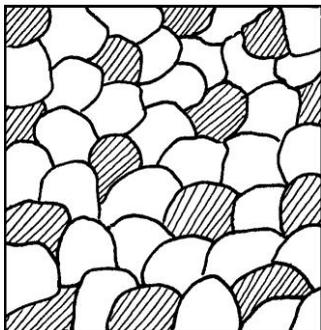


Рисунок 2 - Схема микроструктуры доэвтектоидной стали 45 после полного отжига. Феррит и перлит, $\times 340$

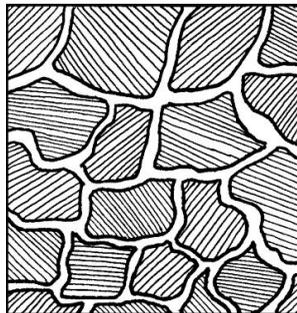


Рисунок 3 -Схема микроструктуры заэвтектоидной стали У11 после полного отжига. Перлит и вторичный цементит. $\times 340$

Формирование такой структуры при охлаждении из аустенитного состояния связано с выделением феррита из аустенита в интервале температур между линиями GS и PSK и превращением аустенита, достигшего содержания углерода 0,8%, в перлит при температуре линии PSK (727°C). При полном отжиге заэвтектоидной стали в результате выделения вторичного цементита из аустенита в интервале температур между линиями ES и PSK и последующего превращения аустенита с 0,8% углерода в перлит формируется структура, состоящая из зерен перлита, окруженных светлой сеткой цементита (рисунок 3).

Нормализация доэвтектоидной углеродистой стали приводит к некоторому измельчению зерен феррита и перлита и повышению дисперсности последнего (рисунок 4), что связано с ускоренным охлаждением на воздухе.

Формирование структуры зернистого перлита (светлые округлые цементитные включения на белом фоне феррита) связано с условиями нагрева, не обеспечивающими гомогенизацию аустенита (рисунок 5).

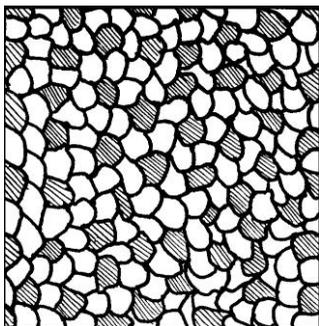


Рисунок 4 -Схема микроструктуры доэвтектоидной стали 45 после нормализации. Феррит и перлит. $\times 340$

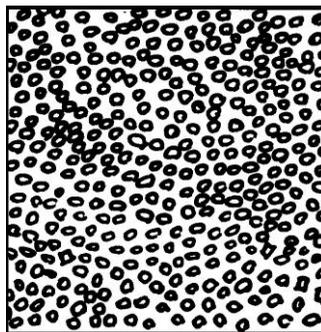


Рисунок 5 -Схема микроструктуры доэвтектоидной стали 45 после отжига на зернистый перлит $\times 500$

2. Микроструктура углеродистой стали после закали и отпуска.

Микроструктура доэвтектоидной углеродистой стали после полной закалки в воде состоит из светлых игл мартенсита (рисунок 6). Кристаллы мартенсита представляют собой линзы (в плоскости микрошлифа имеют вид игл), расположенные параллельно или под углом 60 и 120° . Количество остаточного аустенита в структуре доэвтектоидных сталей не превышает 5% и при микроструктурном анализе он не обнаруживается. В зависимости от размера игл, наблюдаемых в световой микроскоп, различают скрытокристаллический или бесструктурный, мелко-, средне- и крупноигльчатый мартенсит. На практике после полной закалки доэвтектоидных сталей в воде обычно получают мелко- или среднеигльчатый мартенсит.

Нагрев доэвтектоидной стали выше точки A_{C3} более чем на $30...50^\circ\text{C}$ (перегрев) приводит к росту аустенитного зерна и образованию крупноигльчатого мартенсита, имеющего повышенную хрупкость. Поэтому закалка с таких температур на практике не производится.

Микроструктура эвтектоидной углеродистой стали после закалки в воде состоит из светлых игл мартенсита и незначительного количества светлых изолированных участков остаточного



аустенита, слабо обнаруживаемых микроструктурным анализом (рисунок 7).



Рисунок 6 - Схема микроструктуры доэвтектоидной стали 45 после полной закалки в воде. Мартенсит. $\times 500$

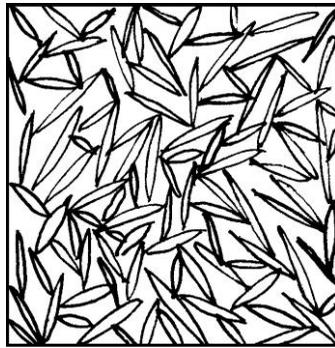


Рисунок 7 -Схема микроструктуры эвтектоидной стали У8 после закалки в воде. Мартенсит, остаточный аустенит. $\times 500$

Для заэвтектоидных углеродистых сталей на практике применяют неполную закалку. Микроструктура таких сталей после неполной закалки состоит из мартенситной основы, вторичного цементита в виде светлых частичек округлой формы и незначительного количества (менее 10%) остаточного аустенита, который плохо выявляется микроструктурным анализом (рисунок 8). При неполной закалке заэвтектоидных сталей образуется мелкоигльчатый или скрытокристаллический мартенсит. Это обусловлено тем, что при нагреве до температур $A_{C1} + 30...50^{\circ}\text{C}$ зерна аустенита имеют малые размеры, в связи с чем при охлаждении образуются настолько мелкие иглы мартенсита, что при микроструктурном анализе с малым и средним увеличением микроскопа они неразличимы. При нагреве заэвтектоидных сталей выше точки A_{cm} (полная закалка) происходит растворение вторичного цементита в аустените и рост аустенитного зерна. После такой закалки образуется структура крупноигльчатого мартенсита с большим количеством остаточного аустенита (30% и более), снижающего твердость стали. Поэтому полная закалка заэвтектоидных сталей на практике не применяется.

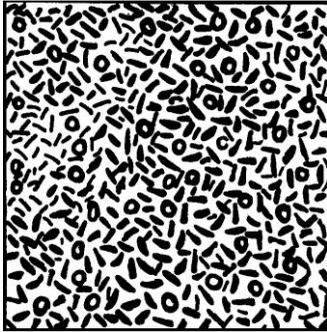


Рисунок 8 - Схема микроструктуры заэвтектоидной стали У11 после неполной закалки в воде. Мартенсит, остаточный аустенит, цементит вторичный, $\times 500$

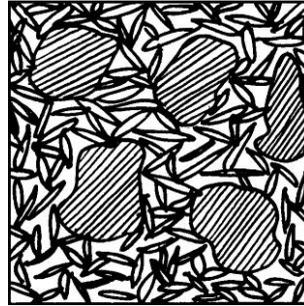


Рисунок 9 - Схема микроструктуры доэвтектоидной стали 45 после закалки в масле. Мартенсит и троостит. $\times 340$

Структура мартенсита в углеродистой стали получается при охлаждении в воде - охлаждающей среде, обеспечивающей закритическую скорость охлаждения. При более медленном охлаждении со скоростью меньше критической происходит диффузионный распад аустенита на феррито-цементитные смеси - троостит, сорбит, перлит, имеющие межпластиночное расстояние соответственно $\sim 0,1; 0,2; 0,3$ мкм. Чем выше скорость охлаждения, тем ниже температура превращения, тем более затруднена диффузия и тем дисперснее частицы феррита и цементита. При микроструктурном исследовании троостит и сорбит выглядят в виде однородных темных участков, что обусловлено, с одной стороны, тем, что разрешающая способность светового микроскопа меньше расстояния между составляющими их фазами, а с другой, - высокой травимостью дисперсной двухфазной структуры. При охлаждении со скоростью меньше критической возможно получение структуры, состоящей из светлых игл мартенсита и темных зерен троостита (рисунок 9). В отличие от перлита, содержащего $0,8\%C$, сорбит и троостит не имеют постоянного состава. Это связано с влиянием скорости охлаждения на количество так называемых избыточных фаз, выделяемых из аустенита, и, как следствие, - на состав аустенита, претерпевающего диффузионный распад.



Общее материаловедение и технологии материалов

Микроструктура углеродистой стали после закалки и низкого отпуска имеет вид темных игл мартенсита отпуска. Это связано с тем, что мартенсит отпуска по сравнению с мартенситом в связи с выделением карбидной фазы имеет несколько большую способность к травлению, почему и выглядит более темным.

В результате среднего отпуска образуется троостит отпуска. Зернистое строение троостита отпуска, как и пластинчатое строение троостита, плохо выявляется при микроструктурном анализе вследствие высокой дисперсности образующих его кристаллов.

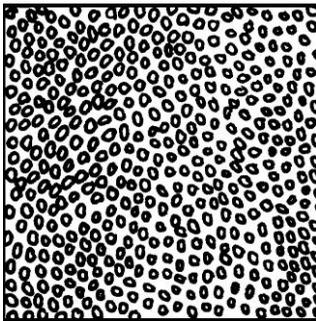


Рисунок 10 - Схема микроструктуры доэвтектоидной стали 45 после закалки и высокого отпуска. Сорбит отпуска. $\times 500$

При наблюдении в световой микроскоп троостит отпуска имеет вид темной массы. Строение троостита отпуска, как и троостита, отчетливо выявляется при исследовании с помощью электронного микроскопа.

После высокого отпуска углеродистая сталь приобретает структуру сорбита отпуска зернистого строения (рисунок 10). На светлом фоне феррита располагаются цементитные включения округлой формы.

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Уясните цель работы.
- 3.2. Изучите особенности формирования структуры углеродистой стали при основных видах термической обработки – отжиге 2-го рода, закалке и отпуске.
- 3.3. Изучите микроструктуру углеродистой стали в термически обработанном состоянии
- 3.4. Изобразите схемы микроструктур углеродистой стали в тер-



мически обработанном состоянии.

3.5. Выполните микроструктурный анализ углеродистой стали в термически обработанном состоянии.

3.6. Проследите за формированием структуры одной из марок углеродистой стали при отжиге 2-го рода, закалке или отпуске.

3.7. Составьте отчет о работе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Цель работы.

4.2. Определение термической обработки, отжига 2-го рода, закалки, отпуска.

4.3. Определение структурных составляющих углеродистой стали в термически обработанном состоянии.

4.4. Схемы микроструктур углеродистой стали в термически обработанном состоянии.

4.5. Микроструктурный анализ углеродистой стали в термически обработанном состоянии.

4.6. Схемы вероятных микроструктур одной из марок углеродистой стали в исходном состоянии, в процессе нагрева и охлаждения.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Какова цель термической обработки стали?

5.2. В чем заключается термическая обработка стали?

5.3. Какие строение и свойства имеют продукты диффузионного превращения аустенита, полученные при охлаждении с различными скоростями?

5.4. В чем заключается полный отжиг, неполный отжиг, отжиг на зернистый перлит, нормализационный отжиг?

5.5. Какую структуру имеют углеродистые стали после полного отжига, неполного отжига, отжига на зернистый перлит, нормализационного отжига?

5.6. Что представляет собой мартенсит?

5.7. В чем заключается полная и неполная закалка?

5.8. В каком случае получается структура мартенсита и троостит-



та?

5.9. В чем заключается отпуск?

5.10. Что представляет собой мартенсит отпуска, троостит отпуска, сорбит отпуска?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Metallurgy, 1986, 544 с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Metallurgy. 1984. 360 с.
3. Металловедение / Арзамасов Б.Н., Сидорин И.Н., Косолапов Г.Ф. и др. М.: Машиностроение, 1986. 384 с.
4. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Металловедение. М.: Metallurgy, 1989. 456 с.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

МИКРОСТРУКТУРА ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: сопоставление микроструктуры легированных сталей.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Легированной называется сталь, содержащая специально введенные элементы для получения требуемых свойств или имеющая повышенное содержание постоянных, технологически неизбежных примесей.

Наиболее распространенными легирующими элементами являются хром, марганец, никель, кремний, вольфрам, ванадий, молибден, титан и другие. Поскольку при выплавке в сталь обычно вводятся кремний и марганец для раскисления и связывания серы, то легированной является сталь при их содержании соответственно $>0,9$ и $0,8\%$,

Легирующие элементы, растворяясь в железе, изменяют положение критических точек, расширяя или сужая область феррита и аустенита, поэтому пользоваться диаграммой состояния железо-цементит при анализе структур легированных сталей в ряде случаев совершенно недопустимо.

По отношению к углероду легирующие элементы делятся на две группы - некарбидообразующие: никель, кремний, алюминий, медь, кобальт; - карбидообразующие: титан, ванадий, вольфрам, молибден, хром, марганец и другие (элементы перечислены в порядке уменьшения устойчивости их карбидов к растворению в аустените при нагреве).

Некарбидообразующие элементы растворяются в феррите и аустените, тогда как карбидообразующие взаимодействуют с углеродом, и в зависимости от их количества и концентрации способны растворяться в феррите, аустените, цементите или образовывать специальные карбиды.

Легирующие элементы обозначаются следующими буквами: С - кремний, Г - марганец, Х - хром, Н - никель, М - молибден,



Общее материаловедение и технологии материалов

В - вольфрам, Ф - ванадий, Т - титан, Ю - алюминий, К - кобальт, Д - медь, Р - бор, Ц - цирконий, Б - ниобий, П - фосфор, А - азот, Ч - редкоземельные металлы.

Каждая марка стали составляется из сочетания букв и цифр. Первые две цифры обозначают содержание углерода в сотых долях процента, а количество легирующих элементов указывается в процентах цифрами, стоящими после соответствующей буквы. Если легирующего элемента около 1% или менее, то цифра после буквы не ставится. Например, сталь 18ХГТ содержит 0,17-0,23%С; 1,00-1,30%Cr; 0,80-1,10%Mn; 0,06-0,12%Ti.

В сталях инструментальных и с особыми свойствами такая маркировка содержания углерода часто не выдерживается. Так в инструментальных сталях количество углерода обычно обозначается только одной цифрой в десятых долях процента, например, 5ХНМ, 7ХЗ, 6ХС и другие. Кроме того, в инструментальных сталях, имеющих углерода 1% и более, цифры, обозначающие его содержание, полностью опускают. Например, сталь Х12М содержит 1,45-1,70%С; 11,0-12,5%Cr; 0,40-0,60%Mo.

Буква А, стоящая в конце марки, указывает, что сталь высококачественная и имеет пониженное содержание серы и фосфора. Например, сталь для азотирования 35ХМЮА содержит серы и фосфора менее 0,025%, тогда как в цементируемой качественной стали 18ХГТ серы и фосфора менее 0,035%.

Некоторые марки сталей выделены в особые группы и обозначаются буквами, стоящими в начале марки: быстрорежущие - Р, шарикоподшипниковые - Ш, для постоянных магнитов - Е, электротехнические - Э и другие. Например, Р18, Р9Ф5, ШХ15, ЕХЗ, Э42 и т.д.

Легированные стали могут быть классифицированы по следующим признакам: составу, назначению, микроструктуре в равновесном состоянии и после охлаждения на воздухе.

1.1. Классификация легированной стали по составу

В зависимости от основных легирующих элементов легированные стали по составу классифицируются как хромистые, марганцовистые, кремнистые, хромоникелевые, хромоникельмо-



либденовые и другие.

1.2. Классификация легированной стали по назначению

По назначению легированные стали разделяются на три основные группы: конструкционные, инструментальные, стали и сплавы с особыми свойствами.

1. Конструкционные стали применяются для изготовления деталей машин. Они подразделяются на цементуемые и улучшаемые. Легирующие элементы в конструкционные стали вводятся, в основном, для повышения прокаливаемости.

Цементуемые легированные стали имеют низкое содержание углерода (0,10-0,25%) для того, чтобы после цементации, закалки и низкого отпуска детали имели твердый поверхностный слой и вязкую сердцевину. Твердость поверхностного слоя после такой обработки около 60HRC, а сердцевины - находится в пределах 15-30HRC. К цементуемым относятся стали 15X; 20X; 18ХГТ; 12ХНЗА; 20Х2Н4А и другие.

Улучшаемые легированные стали содержат 0,30-0,45% углерода и обычно подвергаются термической обработке - улучшению, которая заключается в закалке с последующим высоким отпуском. В качестве легирующих элементов наиболее часто применяются хром, марганец, никель, вольфрам, молибден и кремний. Улучшаемыми являются стали 40X, 30ХГТ, 30ХГСА, 40ХН, 40ХМ и другие.

2. Инструментальные легированные стали имеют повышенное содержание углерода, который обеспечивает получение высокой твердости путем термической обработки. Легирующие элементы в инструментальные стали вводятся для увеличения прокаливаемости, красностойкости, жаропрочности, а в ряде случаев для повышения износостойкости за счет образования карбидов.

В зависимости от назначения и химического состава инструментальные легированные стали делятся на три группы: стали для режущего и измерительного инструмента (пониженной прокаливаемости марок 7ХФ, 8ХФ, 9ХФВ1 и другие, обычно зака-



ливаемые в воде, и повышенной прокаливаемости марок X, XГ, ХВГ, ХВСГ, 9ХВГ, 9ХС, 9Х5ВФ и другие, закаливаемые в масле); быстрорежущие стали, широко применяемые для изготовления режущего инструмента; (нормальной производительности марок Р9, Р12, Р18, Р6М5, Р18Ф2 и повышенной производительности марок Р9Ф5, Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5, Р14Ф4, Р18К5Ф2, содержащие повышенное количество кобальта и ванадия); стали для штампового инструмента (для деформирования в холодном состоянии марок 9Х, X, Х6ВФ, Х12, Х12М, Х12Ф1; для деформирования с большими ударными нагрузками марок 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С, 6ХВГ и для деформирования в горячем состоянии марок 7Х3, 8Х3, 3Х2В8Ф, 4Х8В2, 4Х2В5ФМ, 4Х5В2С, 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНГ, 5ХГМ, 5ХНСВ и другие).

3. Стали и сплавы с особыми свойствами. К ним относятся стали: нержавеющие 12Х13, 20Х13, 08Х18Н10Т; жаропрочные 45Х14Н14В2М, 40Х9С2; износостойкие; с особыми магнитными и электрическими свойствами и другие. Условно принято, что если сумма легирующих элементов превышает 55%, то такой сплав сталью не называют.

1.3. Классификация легированной стали по равновесной структуре

Определение класса стали производится по структуре, которую она имеет после медленного охлаждения из аустенитного состояния, то есть в результате полного отжига. По этой классификации, предложенной П.Обергоффером, легированные стали делятся на шесть классов: доэвтектоидный, эвтектоидный, заэвтектоидный, ледебуритный, аустенитный и ферритный.

Рассматриваемая классификация аналогична классификации углеродистых сталей, однако большинство легирующих элементов сильно искажают диаграмму железо-цементит, сдвигая точки S и E в сторону меньшего содержания углерода. Это объясняется уменьшением предельной растворимости углерода в аустените при введении легирующих элементов, поэтому граница между доэвтектоидными, заэвтектоидными и ледебуритными сталями может лежать при значительно меньшем содержании угле-



рода, чем в углеродистых сталях.

1.4. Классификация легированной стали по структуре после охлаждения на воздухе из аустенитного состояния

Для определения принадлежности к тому или иному классу в соответствии с этой классификацией сталь (в виде образцов толщиной 15-20 мм) нагревают до аустенитного состояния, а затем охлаждают на воздухе, то есть подвергают нормализации.

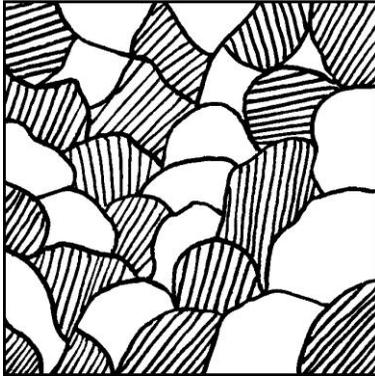
Эта классификация, предложенная французским ученым Л.Гийе, основывается на уменьшении критической скорости заковки и снижении температурного интервала мартенситного превращения при увеличении содержания легирующих элементов в стали. При одинаковой скорости охлаждения (на воздухе) из аустенитного состояния стали с различным содержанием легирующих элементов могут приобретать перлитную, мартенситную или аустенитную структуру. В связи с этим, по структуре после охлаждения на воздухе различают следующие три основных класса сталей: перлитный, мартенситный и аустенитный.

Кроме трех указанных основных классов, характеризующихся по структуре, получаемой сталью при охлаждении на воздухе, существуют карбидный и ферритный классы. Для сталей карбидного класса условным признаком является уже не основная структура образца диаметром 15-20 мм, охлажденного на воздухе из аустенитного состояния, а присутствие значительного количества карбидов, которые образуются при наличии в стали большого количества углерода и карбидообразующих легирующих элементов. Стали ферритного класса по структуре после охлаждения на воздухе из аустенитного состояния совпадают со сталями ферритного класса по структуре в равновесном состоянии.

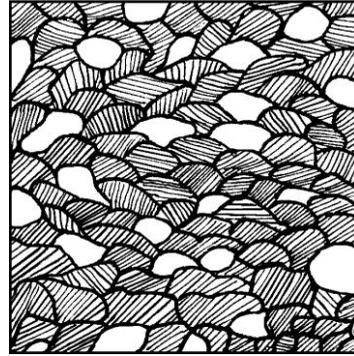


2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

2.1. Микроструктура легированных сталей в равновесном состоянии



а)



б)

Рисунок 1.- Схемы микроструктуры легированной стали доэвтектоидного класса марки 30ХГСА после полного отжига от 880°C (а- тонкопластинчатый перлит и феррит) и после нормализации от 880°C (б- сорбит и феррит) $\times 600$ (сорбит при увеличениях светового микроскопа так, как показан на схеме, не разрешается)

1. Доэвтектоидные стали имеют структуру феррита и перлита (рисунок 1,а). Количество феррита и перлита в структуре определяется содержанием углерода в стали и концентрацией углерода в эвтектоиде. К этому классу относятся конструкционные стали, например, марок 15Х, 18ХГТ, 18Х2Н4ВА, 30ХГСА, 40Х и многие другие.

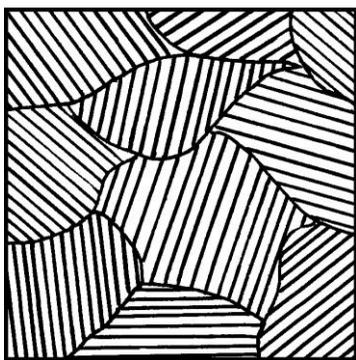
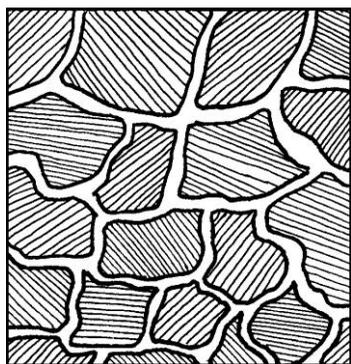
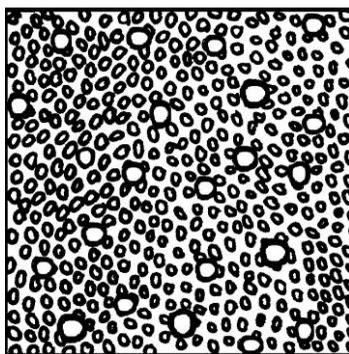


Рисунок 2.- Схема микроструктуры легированной стали эвтектоидного класса марки 70С3А после полного отжига от 860°C. Пластинчатый перлит. $\times 600$

2. Эвтектоидные стали имеют перлитную структуру (рисунок 2). С увеличением содержания легирующих элементов концентрация углерода в перлите снижается и становится значительно меньше 0,8%. Например, сталь марки 70С3А, содержащая 0,66-0,74%С и 2,40-2,80%Si, имеет в отожженном состоянии перлитную структуру.



а)



б)

Рисунок 3.- Схема микроструктуры легированной стали заэвтектоидного класса марки ХГ после полного отжига от 1000°C (а- тонкопластинчатый перлит и сетка вторичных карбидов) и отжига на зернистый перлит (б- зернистый перлит и вторичные карбиды округлой формы). $\times 600$

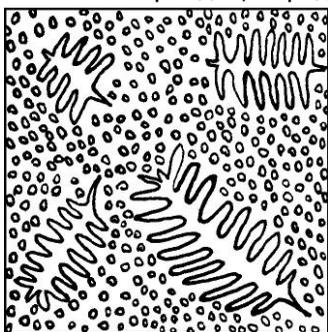
3. Заэвтектоидные стали имеют структуру, состоящую из перлита и избыточных вторичных карбидов. К этому классу относятся инструментальные стали марок Х, ХГ, ХВГ, ХГСВ и другие. Так сталь ХГ, содержащая 1,30-1,50%С; 1,30-1,60%Cr и 0,45-



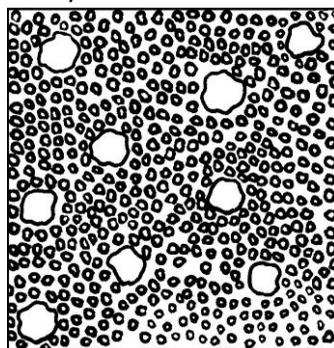
Общее материаловедение и технологии материалов

0,70%Mn, после полного отжига из однофазного аустенитного состояния имеет структуру, состоящую из тонкопластинчатого перлита и сетки избыточных вторичных карбидов (рисунок 3,а). Сплошная сетка карбидов снижает механические свойства заэвтектоидных сталей, поэтому они подвергаются отжигу на зернистый перлит (рисунок 3,б).

4. Ледебуритного класса стали содержат в структуре первичные карбиды, выделившиеся из жидкой фазы при кристаллизации и входящие в состав эвтектики - ледебурита. Легирующие элементы могут настолько сильно уменьшить растворимость углерода в аустените, что при концентрации его менее 1% возможно образование ледебурита в стали. Например, в литой быстрорежущей стали марки P18, содержащей 0,70-0,80%C; 17,5-19,0%W; 1,0-1,4%V и 3,8-4,4%Cr, присутствует ледебурит, имеющий в вольфрамовых сталях "скелетообразный" вид. Ледебурит состоит из пластинок карбидов, чередующихся с аустенитом.



а)



б)

Рисунок 4.- Схема микроструктуры легированной стали ледебуритного класса марки P18 в литом состоянии (а- ледебурит, аустенит и эвтектоид) и после обработки давлением -ковки и отжига (б- крупные первичные и мелкие вторичные карбиды, мелкозернистый перлит). $\times 600$

При охлаждении в процессе кристаллизации перитектическое превращение (жидкость+ δ -феррит \rightarrow аустенит) не успевает завершиться, и в структуре сохраняется некоторое количество δ -



Общее материаловедение и технологии материалов

феррита, который в быстрорежущих сталях при дальнейшем охлаждении претерпевает эвтектоидный распад с образованием δ -эвтектоида, состоящего из тонкодисперсной смеси аустенита и карбидов. Из-за большой измельченности δ -эвтектоид сильно травится, имеет вид темных кристаллов округлой формы и плохо отличим в оптическом микроскопе от перлита (рисунок 4,а).

Карбиды, образовавшиеся в процессе кристаллизации и входящие в состав ледебурита, называются первичными.

По структуре стали ледебуритного класса следовало бы рассматривать как белые чугуны. Однако в результате пониженного содержания углерода они по свойствам значительно ближе к стали, чем к чугунам, что позволяет рассматривать их как стали. Ледебуритные стали обладают более высокой пластичностью, чем белые чугуны, поэтому путем горячей обработки давлением удается раздробить ледебуритную эвтектику и повысить свойства стали за счет равномерного распределения карбидов. Структура кованой и отожженной быстрорежущей стали P18 состоит из крупных первичных карбидов, более мелких вторичных и мелкозернистого перлита, состоящего из легированного феррита и эвтектоидных карбидов (рисунок 4,б).

К ледебуритному классу относятся инструментальные стали - быстрорежущие марок P9, P12, P18, P9Ф5, P10K5Ф5 и для штампов холодной штамповки марок X12, X12Ф1, X12M.

5. Аустенитного класса стали содержат большое количество легирующих элементов, которые расширяют область аустенита, повышая его устойчивость, и резко сужают область существования феррита.

Элементами, стабилизирующими аустенитную структуру, являются никель, марганец, медь, азот и углерод. При достаточном их содержании сталь не претерпевает фазовых превращений и сохраняет аустенитную структуру при охлаждении до комнатной температуры.

Для аустенитной структуры характерно наличие внутри зерен прямолинейных границ двойникования. На рисунке 5 показана структура стали 12X18H9T закаленном состоянии. При мед-



ленном охлаждении от 1050°C из аустенита выделяются по границам зерен карбиды, снижающие механические свойства. Поэтому стали аустенитного класса часто применяются в однофазном состоянии. аустенита, которое получается путем растворения карбидов при нагреве и последующей закалки в воде.

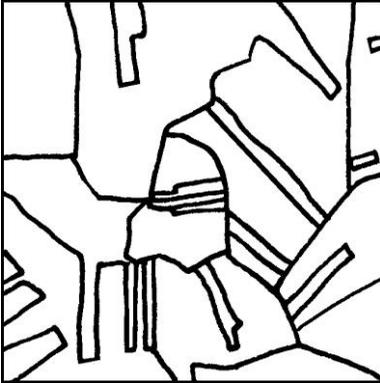


Рисунок 5.- Схема микроструктуры легированной стали аустенитного класса марки 12ХН18Н9Т после закалки от 1050°C в воде. Аустенит. $\times 600$. (Травление в электролите, содержащем 10 г щавелевой кислоты и 100 мл воды, при плотности тока $0,1 \text{ A/cm}^2$ в течение 35-45 с)

Стали аустенитного класса в зависимости от химического состава могут быть нержавеющими (12Х18Н9Т, 08Х18Н12Т, 04Х18Н10), жаропрочными (08Х18Н10Т, 45Х14Н14В2М), износостойкими (Г13), а также обладать другими особыми свойствами.

Жаропрочность определяется силами межатомного взаимодействия при повышенных температурах, а так как плотность упаковки атомов в аустените максимальная, то стали аустенитного класса обладают наибольшей жаропрочностью. Хром и никель являются основными легирующими компонентами этих сталей. Хром определяет окалиностойкость, а никель - устойчивость аустенита.

В хромоникелевых нержавеющих сталях из-за наличия углерода могут образоваться специальные карбиды, преимущественно типа M_{23}C_6 . Выделение карбидов происходит по границам зерен, что при определенных условиях приводит к появлению



Общее материаловедение и технологии материалов

особого вида коррозионного разрушения по границам зерен, называемого межкристаллитной коррозией.

Благодаря аустенитной структуре эти стали немагнитны, имеют высокую пластичность и многие из них хорошо штампуются в холодном состоянии.

6. Ферритного класса стали имеют высокую концентрацию легирующих элементов, сужающих область аустенита и расширяющих область феррита. К таким элементам относятся: хром, кремний, алюминий, молибден, вольфрам, ванадий, титан и другие.

Для получения перлитной структуры сталь должна иметь минимальное (до 0,1-0,2%) содержание углерода, расширяющего область аустенита. Структура этих сталей состоит, в основном, из легированного феррита, не превращающегося в аустенит при нагреве вплоть до температуры плавления. На рисунке 6 показана микроструктура трансформаторной стали марки Э42, которая вследствие низкого содержания углерода (менее 0,05%) и высокой концентрации кремния (3,8-4,8%) не имеет аллотропического превращения $\alpha \leftrightarrow \gamma$ и поэтому относится к ферритному классу.

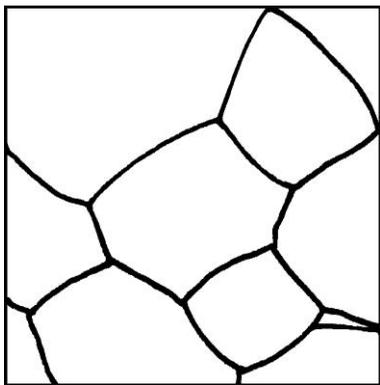


Рисунок 6.- Схема микроструктуры легированной стали ферритного класса марки Э42. Феррит. $\times 600$

Электротехническая сталь имеет по ГОСТу специальную маркировку. Первая цифра за буквой Э показывает примерное содержание кремния в %. Вторая цифра характеризует уровень электротехнических и магнитных свойств (чем цифра больше, тем свойства выше). Кремний, растворяясь в феррите, резко увеличивает электросопротивление и тем самым снижает потери на вихревые токи и гистерезис.

При высоком содержании хрома, кремния и алюминия стали ферритного класса являются жаростойкими (окалиностойкими), так как эти элементы способны образовывать на поверхности детали плотные пленки окислов, препятствующие проникновению кислорода и образованию окалины. К жаростойким относятся стали марок X17, OX17T, X25T, X28, 1X12СЮ, X18СЮ и другие. Стали ферритного класса в качестве жаропрочных не применяются, так как феррит имеет более низкую плотность упаковки атомов в решетке, чем аустенит. Благодаря ферритной структуре, эти стали обладают ферромагнитными свойствами.

2.2. Микроструктура легированных сталей после охлаждения на воздухе из аустенитного состояния

1. Перлитного класса стали имеют сравнительно малое содержание легирующих элементов, вследствие чего их критическая скорость закалки оказывается выше скорости охлаждения на воздухе. Поэтому при охлаждении на воздухе происходит распад аустенита диффузионным путем с образованием перлитных



Общее материаловедение и технологии материалов

структур (перлит, сорбит или троостит), которые отличаются друг от друга различной дисперсностью пластин карбидов и легированного феррита.

К сталям перлитного класса относится большинство конструкционных и инструментальных сталей: 20Х, 40Х, 30ХГСА, Х, ХГ, ХВГ, 9ХС и другие. На рисунке 1,6 показана микроструктура стали 30ХГСА в нормализованном состоянии. При ускоренном охлаждении на воздухе весь феррит не успевает выделиться из аустенита, который превращается в сорбит. Поэтому после нормализации зерен феррита значительно меньше, чем после полного отжига.

2. Мартенситного класса стали содержат больше легирующих элементов по сравнению со сталями перлитного класса. Легирующие элементы, повышая устойчивость переохлажденного аустенита к распаду, настолько снижают критическую скорость закалки, что она оказывается меньше скорости охлаждения на воздухе.



Рисунок 7.- Схема микроструктуры легированной стали мартенситного класса марки 20X13 после нормализации от 1050^oC. Мартенсит и остаточный аустенит. $\times 600$. (Травление в электролите, содержащем 5-10 г щавелевой кислоты и 100 мл воды, при плотности тока 0,1 А/см² в течение 60-80 с)

Поэтому при охлаждении на воздухе сталь закаливается на мартенситную структуру (рисунок 7). К мартенситному классу относятся стали марок 20X2H4A, 20X13, 30X13, 50X13, P9, P6M5, P18 и другие.

3. Аустенитного класса стали содержат большое количество легирующих элементов, которые снижают температуру начала мартенситного превращения в область отрицательных температур и настолько повышают устойчивость аустенита, что он после охлаждения на воздухе совершенно не распадается при комнатной температуре. К аустенитному классу относятся стали марок 12X18H9T, Г13, 45X14H14B2M и другие (см. рисунок 5).

4. Для сталей карбидного класса условным признаком является уже не основная структура образца диаметром 15-20 мм, охлажденного на воздухе от аустенитного состояния, а присутствие значительного количества карбидов, которые образуются при наличии в стали большого количества углерода и карбидообразующих легирующих элементов.



Общее материаловедение и технологии материалов

Легирующие элементы, растворяясь в цементите, способны образовывать легированный цементит, например, $(\text{Fe},\text{Mo})_3\text{C}$, $(\text{Fe},\text{Cr})_3\text{C}$, $(\text{Fe},\text{W})_3\text{C}$. Легированный цементит и специальные карбиды типа M_6C , M_7C_3 , M_{23}C_6 (где М - карбидообразующие элементы), например, $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$, Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , имеющие сложную кристаллическую решетку, построенную из закономерно расположенных атомов металла и углерода, относятся к карбидам первой группы.

Металлы, для которых отношение атомного радиуса углерода (0,079 нм) к их собственному радиусу меньше 0,59, способны образовывать специальные карбиды типа M_2C и MC (MO_2C , W_2C , WC , VC , TiC и другие), являющиеся фазами внедрения. Эти карбиды имеют сравнительно простую кубическую или гексагональную решетку, построенную из атомов металла, а атомы углерода внедрены в нее. Карбиды, представляющие фазы внедрения, относятся ко второй группе.

Однако в чистом виде перечисленные карбиды в сталях не существуют. Все они растворяют железо, а при наличии нескольких карбидообразующих элементов - и эти элементы. Так, в хромомарганцовистой стали вместо специального карбида хрома Cr_{23}C_6 образуется сложный карбид $(\text{Cr},\text{Mn},\text{Fe})_{23}\text{C}_6$, содержащий в твердом растворе железо и марганец.

Следует отметить, что фазы внедрения значительно труднее растворяются в аустените при нагревании, чем карбиды первой группы и тем более, чем простой цементит Fe_3C . Поэтому для растворения карбидов в аустените легированные стали нагревают при термической обработке до более высоких температур, чем углеродистые стали.

Карбиды повышают износостойкость, твердость и режущие свойства легированных сталей. К карбидному классу относятся инструментальные стали, например, марок P9, P18, X12, X12Ф1, XB5 и многие другие (см. рисунок 4).

5. Ферритного класса стали имеют минимальное содержание углерода при большом количестве легирующих элементов, расширяющих область α -железа (феррита). Такие стали кристаллизуются с образованием структуры легированного феррита, ко-



торый ни при охлаждении, ни при нагревании не превращается в аустенит (см. рисунок б).

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Уясните цель работы.
- 3.2. Изучите сущность легирования стали, классификацию легирующих элементов, особенности маркировки и принципы классификации легированной стали по составу, назначению, структуре в равновесном состоянии и после охлаждения на воздухе из аустенитного состояния.
- 3.3. Сопоставьте микроструктуру легированных сталей.
- 3.4. Изобразите схемы микроструктур различных классов легированной стали.
- 3.5. Выполните микроструктурный анализ различных классов легированной стали.
- 3.6. Составьте отчет о работе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Цель работы.
- 4.2. Определение легированной стали.
- 4.3. Классификация легирующих элементов.
- 4.4. Особенности маркировки легированных сталей.
- 4.5. Принципы классификации легированной стали по структуре в равновесном состоянии и после охлаждения на воздухе из аустенитного состояния.
- 4.6. Схемы микроструктур различных классов легированной стали.
- 4.7. Микроструктурный анализ различных классов легированной стали.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Какие стали называются легированными?
- 5.2. Какие легирующие элементы являются карбидо- и некарбидообразующими?
- 5.3. Как маркируются легированные стали?



Общее материаловедение и технологии материалов

- 5.4. По каким признакам классифицируют легированную сталь?
- 5.5. На какие группы подразделяются легированные стали по назначению?
- 5.6. На какие классы делятся легированные стали по структуре в равновесном состоянии?
- 5.7. Какие легирующие элементы содержат стали аустенитного и ферритного классов?
- 5.8. На какие классы делятся легированные стали по структуре после охлаждения на воздухе из аустенитного состояния?
- 5.9. Какие стали относятся к ледебуритному классу?
- 5.10. Какие стали относятся к карбидному классу?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Гуляев А.П. Металловедение.- М.: Металлургия, 1986. 544 с.
- 2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов.- М.: Металлургия, 1984. 360 с.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

МИКРОСТРУКТУРА ЧУГУНА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение микроструктуры чугуна.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Чугуном называется железоуглеродистый сплав с содержанием углерода более 2,14% (последние данные 2,06%).

Промышленный чугун, кроме основных компонентов железа и углерода, содержит постоянные примеси (кремний, марганец, серу, фосфор и др.), как правило, в больших количествах, чем углеродистая сталь.

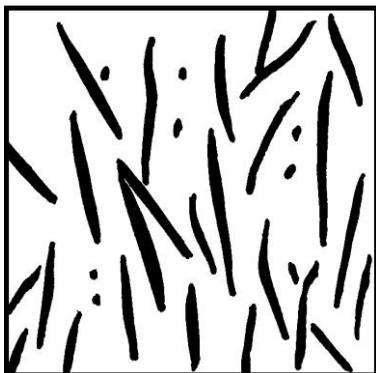
Основой для изучения чугуна, как и стали, являются диаграммы состояния систем железо-цементит и железо-графит.

В зависимости от скорости охлаждения, содержания примесей, модифицирования и последующей термической обработки может быть получен чугун белый, серый, ковкий, высокопрочный.

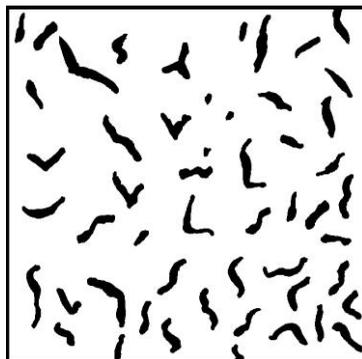
Белый чугун не содержит графита; в его структуре углерод полностью находится в химически связанном состоянии в виде цементита (карбида железа – Fe_3C).

В структуре серого, ковкого и высокопрочного чугуна углерод частично или полностью находится в свободном состоянии в виде графита различной формы. В сером чугуне форма графита пластинчатая (рисунок 1,а,б); в ковком - хлопьевидная (рисунок 1,в); в высокопрочном - шаровидная (рисунок 1,г).

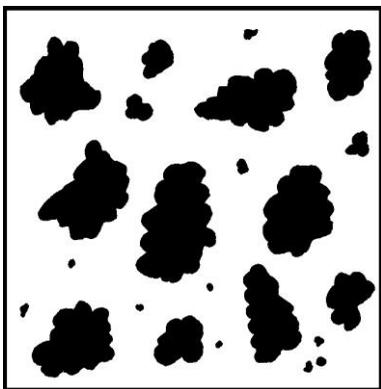
При нормальной (комнатной) температуре чугун состоит из следующих фаз - феррита, цементита и графита, образующих однофазные - феррит, цементит, графит и двухфазные структурные составляющие - перлит, ледебурит.



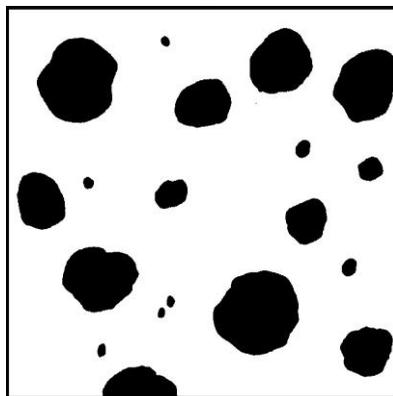
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.- Схемы микроструктур серого (а - крупный прямолинейный пластинчатый графит; б - мелкий завихренный пластинчатый графит), ковкого (в - хлопьевидный графит), высокопрочного (г - шаровидный графит) в нетравленном состоянии, $\times 135$

Феррит представляет собой ограниченный твердый раствор внедрения углерода в α -железе, имеет объемно центрированную кубическую кристаллическую решетку, твердость HB600...800 МПа, очень пластичен, ферромагнитен до температуры 768°C . На диаграмме состояния железо-цементит занимает две области ANH и GPQ. Максимальное содержание углерода в феррите составляет 0,025% при температуре 727°C (точка P



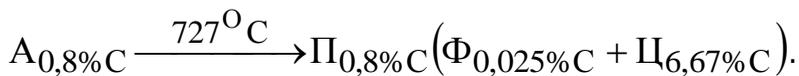
Общее материаловедение и технологии материалов

диаграммы) и 0,0067% при нормальной температуре (точка Q диаграммы). Микроструктура феррита состоит из однородных зерен светлой или зачастую различной окраски, что объясняется неодинаковой травимостью зерен, срезанных по различным кристаллографическим плоскостям при изготовлении микрошлифа (анизотропия свойств кристаллов).

Цементит - химическое соединение Fe_3C представляет собой карбид железа, содержащий 6,67% углерода, имеет сложную кристаллическую решетку с плотной упаковкой атомов, обладает высокой твердостью HB10000 МПа и хрупкостью. После обычного травления с использованием универсального реактива - 4% раствора азотной кислоты в этиловом спирте - цементит, как и феррит просматривается в микроскопе в виде светлых участков. Вследствие слабой растворимости цементита в кислотах его участки в структуре выступают над окружающим ферритом и остаются более гладкими и блестящими по сравнению с ферритом. Для четкого выявления цементита можно применять специальное травление пикратом натрия, после которого цементит окрашивается в темный цвет, а феррит остается светлым. Различают первичный цементит (C_I), кристаллизующийся из жидкой фазы в виде игл или пластин у сплавов, содержащих более 4,3% углерода; вторичный (C_{II}), выделяющийся при вторичной кристаллизации из аустенита по границам его зерен у сплавов с содержанием углерода более 0,8%; третичный (C_{III}), выделяющийся при кристаллизации из феррита по границам его зерен в виде сетки у всех сплавов с содержанием углерода более 0,0067%. Начало первичной кристаллизации цементита соответствует температурам линии DC диаграммы состояния железо-цементит ($1252-1147^{\circ}C$), начало выделения вторичного цементита - температурам линии ES ($1147-727^{\circ}C$), начало выделения третичного цементита - температурам линии PQ ($727-20^{\circ}C$).

Перлит представляет собой эвтектоидную смесь двух фаз - феррита и цементита, которая образуется при температуре линии PSK диаграммы ($727^{\circ}C$) в результате эвтектоидного превращения

по реакции



В зависимости от формы цементита различают пластинчатый перлит с межпластиночным расстоянием более 0,3 мкм, получаемый в результате отжига, и зернистый, получаемый путем специальной термической обработки. Твердость HB пластинчатого и зернистого перлита составляет соответственно 2000-2500 МПа и 1600-2200 МПа и зависит от степени измельченности (дисперсности) цементита. Другие характеристики механических свойств перлита также обуславливаются свойствами его фазовых составляющих и зависят от степени дисперсности цементита. Чем крупнее составляющие перлит пластины цементита и феррита, тем ниже уровень его механических свойств, причем у крупнопластинчатого перлита снижаются характеристики прочности и пластичности.

После обычного травления пластинчатый перлит под микроскопом просматривается в виде чередующихся светлых пластинок феррита и цементита, причем ширина цементитных пластинок приблизительно в 7 раз меньше ширины пластинок феррита. При уменьшении увеличения микроскопа в связи со слиянием растравленных границ между ферритом и цементитом последний просматривается в виде темных пластин, почему очень часто на схеме микроструктуры перлит изображают в виде чередующихся светлых пластин феррита и темных пластин цементита. При совсем малых увеличениях перлит просматривается в виде зерен серого цвета. Зернистый перлит под микроскопом просматривается в виде светлых включений цементита округлой формы на светлом фоне феррита. Строение перлита целесообразно рассматривать при увеличениях не менее 500 раз.

Ледебурит представляет собой двухфазную смесь аустенита (или перлита) и цементита. Ледебурит - эвтектическая двухфазная смесь аустенита и цементита - образуется при температуре линии ECF (1147⁰C) диаграммы в результате эвтектического превращения по реакции



$$\text{Ж}_{4,3\% \text{C}} \xrightarrow{1147^{\circ} \text{C}} \text{A}_{2,14\% \text{C}} + \text{Ц}_{6,67\% \text{C}}$$
 Выявленный металлографически как смесь, ледебурит по своей природе представляет собой бикристаллическое образование, двухфазный бикристалл.

При дальнейшем охлаждении в соответствии с линией ES диаграммы происходит выделение из аустенита вторичного цементита и после достижения аустенитом эвтектоидного состава при температуре линии PSK (727°C) - эвтектоидное превращение, в связи с чем при температурах ниже 727°C ледебурит представляет собой двухфазную смесь перлита и цементита. Ледебурит тверд ($\approx \text{HB}7000 \text{ МПа}$) и хрупок. Под микроскопом ледебурит просматривается в виде темных включений перлита на светлом фоне цементита.

Графит представляет собой аллотропическую модификацию углерода с кристаллической решеткой типа гексагональной, имеет слоистое строение, ничтожно малые значения прочностных характеристик, его влияние на металлическую основу чугуна сказывается подобно действию надрезов. Графит обладает смазывающим действием, усиливает демпфирующие свойства, под микроскопом имеет вид темных включений.

Все чугуны, кроме белого, получают в результате графитизации и, как конструкционный материал, находят широкое применение в машиностроении.

Процесс кристаллизации графита как из жидкой фазы при затвердевании чугуна, так и из твердой фазы (аустенита) называется графитизацией.

Образование структуры чугуна в процессе графитизации можно рассматривать по двойной - совмещенной диаграмме состояния систем железо-графит и железо-цементит, а также с успехом можно объяснить по диаграмме состояния железо-цементит.

На процесс кристаллизации графита, в основном, оказывают влияние химический состав чугуна и скорость охлаждения.

Химические элементы, входящие в состав чугуна, ока-



зывают различное влияние на процесс графитизации.

Углерод способствует процессу графитизаций чугуна. Кремний - графитообразующий элемент - способствует кристаллизации графита из жидкого и твердого растворов или разложению цементита при нагреве по реакции $C \rightarrow A + G$. Наличие в чугуне элементов - алюминия, никеля, меди, оксидов SiO_2 , Al_2O_3 , нитридов AlN , BN , нерастворившихся частиц графита, также благоприятно влияет на графитизацию чугуна. Сера и марганец при повышенном содержании тормозят образование графита и, подобно ускоренному охлаждению, вызывают "отбел" в чугуне (кристаллизацию цементита).

Быстрое охлаждение препятствует графитизации чугуна. Медленное охлаждение оказывает положительное влияние на процессы графитизации и чем меньше скорость охлаждения, тем более полно они завершаются. Поэтому для получения структуры серого чугуна в его состав вводится 2,5-4% углерода, 1-4% кремния и осуществляется медленное охлаждение отливок в литейных формах. При затвердевании и медленном охлаждении серого чугуна графит пластинчатой формы выделяется как из жидкой фазы, так и из твердого раствора - аустенита. Структура чугуна после графитизации, разумеется, будет состоять из металлической основы и неметаллических графитных включений. Металлическая основа чугуна после графитизации определяется по диаграмме состояния железо-цементит в зависимости от содержания в чугуне оставшегося связанного углерода в виде цементита.

В железоуглеродистых сплавах, кроме описанного процесса образования графита при кристаллизации серого чугуна, возможен и другой путь графитизации. Образовавшийся в структуре белого чугуна цементит является неустойчивым (нестабильным) соединением и при определенных условиях (нагреве) может распадаться с образованием аустенита и графита. Поэтому в белом чугуне при температуре выше линии PSK и соответствующей выдержке будет происходить графитизация - распад цементита, растворение атомов углерода в аустените, диффузия атомов углерода к центрам кристаллизации и рост графитных включений хло-



пьевидной формы. В результате структура будет состоять из зерен аустенита и графитных включений. При дальнейшем достаточно медленном охлаждении $10-20^{\circ}/\text{час}$ можно добиться распада аустенита с образованием феррито-графитной структуры ковкого чугуна. Если скорость охлаждения будет значительно выше, аустенит переохладится до линии PSK (727°C) и превратится в перлит. В этом случае путем замедленного охлаждения или длительной изотермической выдержки ниже линии PSK можно достигнуть полного разложения эвтектоидного цементита, входящего в перлит, и получения также структуры ковкого чугуна с ферритной металлической основой и хлопьевидным графитом.

Процесс графитизации при надлежащих температурах широко используется для регулирования металлической основы и свойств высокопрочного чугуна.

2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУГУНА

2.1. Микроструктура белого чугуна

В соответствии с диаграммой состояния железо-цементит белый чугун может быть доэвтектическим с содержанием углерода менее 4,3%, эвтектическим при 4,3% углерода и заэвтектическим с концентрацией углерода более 4,3%.

При охлаждении доэвтектического состава из жидкого состояния до линии ликвидус BC никаких превращений не происходит. От температур линии ликвидус BC до линии солидус EC кристаллизуется аустенит переменного состава, что приводит (при 1147°C) к увеличению содержания в жидком чугуне углерода до 4,3% и эвтектическому превращению, при котором происходит одновременная кристаллизация из жидкости двух фаз - аустенита с концентрацией 2,14% C и цементита, приводящая к образованию ледебурита. Дальнейшее охлаждение, за счет выделения вторичного цементита в соответствии с линией ES сопровождается снижением содержания углерода в аустените до 0,8% C, эвтектоидным превращением по линии PSK, в результате чего микроструктура доэвтектического белого чугуна ниже 727°C , состоит из перлита в виде темных участков, ледебурита в виде темных точечных перлитных включений на белом фоне цементита и вто-



ричного цементита, который может быть в виде светлых отдельных включений и игл, и может сливаться с цементитом ледебурита (рисунок 2). С увеличением содержания углерода в чугуне количество ледебурита возрастает, а перлита уменьшается.

Микроструктура эвтектического белого чугуна состоит из ледебурита, представляющего собой при температурах выше линии PSK (727°C) смесь аустенита и цементита (эвтектического и вторичного), а ниже - смесь перлита и цементита (рисунок 3).



Рисунок 2.- Схема микроструктуры доэвтектического белого чугуна. Ледебурит и перлит. $\times 350$

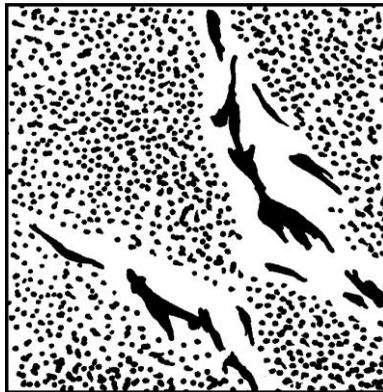


Рисунок 3.- Схема микроструктуры эвтектического белого чугуна. Ледебурит. $\times 350$

Микроструктура заэвтектического белого чугуна состоит из крупных светлых пластин первичного цементита и ледебурита (рисунок 4).

В результате кристаллизации первичного цементита ниже линии DC диаграммы жидкий чугун обезуглероживается и при температуре 1147°C (линия ECF) с содержанием углерода 4,3% затвердевает в эвтектику - ледебурит, которая при нормальной температуре представляет собой смесь перлита и цементита; с повышением содержания углерода в заэвтектическом чугуне количество первичного цементита возрастает, количество ледебурита уменьшается.

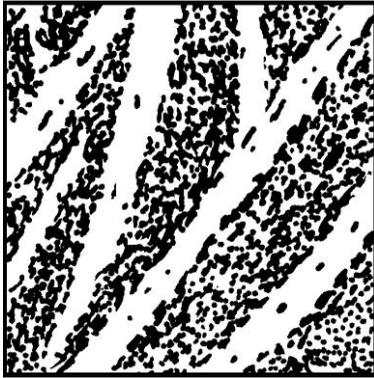


Рисунок 4.- Схема микро-структуры заэвтектического белого чугуна. Ледебурит и первичный цементит. $\times 350$

Высокое содержание эвтектического, первичного и вторичного цементита в белом чугуне придает ему высокую твердость, хрупкость и износостойкость. Белый чугун очень плохо обрабатывается режущим инструментом. Применяется при литье только износостойких отливок, не требующих обработки (шары для шаровых мельниц, прокатные валки, вагонные колеса с отбеленным ободом и некоторые другие). Белый чугун своим названием обязан матово-белому цвету излома.

2.2. Микроструктура серого чугуна

Серый чугун, как уже было отмечено, получается непосредственно в процессе кристаллизации из жидкого состояния при медленном охлаждении в литейных формах.

В структуре серого чугуна ледебурит отсутствует, а углерод находится в форме пластинчатого графита (в виде прожилков, лепестков, чешуек).

Металлическая основа (матрица) серого чугуна зависят от количества связанного углерода (цементита), оставшегося в структуре после графитизации.

Если связанного углерода почти нет, то металлическая основа - ферритная, если связанного углерода 0,8% - перлитная, если меньше 0,8% - феррито-перлитная. Соответственно и чугун называют ферритным (рисунок 5), перлитным (рисунок 6), феррито-перлитным (рисунок 7).

Кроме указанных структурных составляющих в сером чу-



Общее материаловедение и технологии материалов

гуне, благодаря повышенному содержанию фосфора и ликвации его, часто образуются участки фосфидной эвтектики характерного точечного строения. Фосфидная эвтектика состоит из феррита, цементита и фосфида железа Fe_3P . Крупные образования фосфидной эвтектики сильно увеличивают хрупкость чугуна.

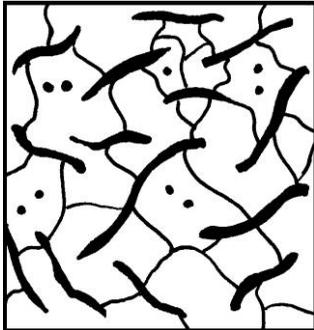


Рисунок 5.- Схема микроструктуры ферритного серого чугуна. Феррит и пластинчатый графит. $\times 200$



Рисунок 6.- Схема микроструктуры перлитного серого чугуна. Перлит и пластинчатый графит. $\times 600$



Рисунок 7.- Схема микро-структуры феррито-перлитного серого чугуна. Феррит, перлит и пластинчатый графит. $\times 200$

Пластинчатая форма графита в значительной степени разупрочняет металлическую основу и придает серому чугуну повышенную хрупкость.

Серый чугун хорошо обрабатывается режущим инструментом. Отливки из серого чугуна производятся в соответствии с ГОСТ 1412-79. По серому цвету излома чугун называется серым.

2.3. Микроструктура ковкого чугуна

Ковкий чугун получается путем отжига (графитизации) белого доэвтектического чугуна. В зависимости от режима отжига металлическая основа так же, как и у серого чугуна, может быть ферритной (рисунок 8), перлитной (рисунок 9) и феррито-перлитной (рисунок 10).

При отжиге белого чугуна графит кристаллизуется в виде хлопьев и называется графитом отжига (см. рисунок 1,в).

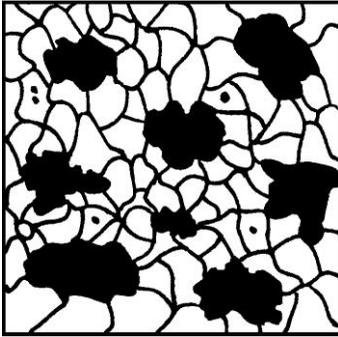


Рисунок 8.- Схема микроструктуры ферритного ковкого чугуна. Феррит и хлопьевидный графит. $\times 200$

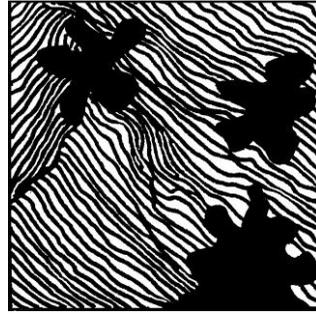
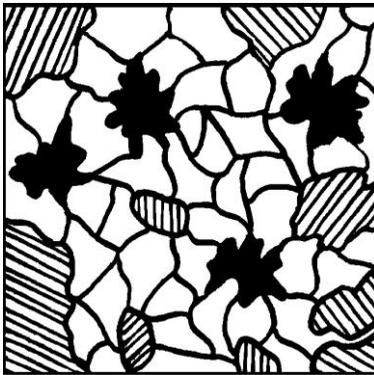


Рисунок 9.- Схема микроструктуры перлитного ковкого чугуна. Перлит и хлопьевидный графит. $\times 600$



Ковкий чугун, благодаря равновероятной форме хлопьев, снижающей концентрацию напряжений, обладает повышенными характеристиками прочности и пластичности. Марки механических свойств ковкого чугуна предусмотрены ГОСТ 1215-79.



Рисунок 10.- Схема микроструктуры феррито-перлитного ковкого чугуна. Феррит, перлит и хлопьевидный графит. $\times 200$

Несмотря на название, ковкий чугун практически не куется, но может, в случае коблечения отливок, подвергаться рихтовке.

2.4. Микроструктура высокопрочного чугуна

Получение высокопрочного чугуна основано на обработке (модифицировании) серого чугуна в жидком состоянии присадками магния, церия.

От степени графитизации (количества оставшегося связанного углерода в структуре) металлическая основа чугуна с шаровидным графитом может быть ферритной (рисунок 11), феррито-перлитной (рисунок 12) и перлитной (рисунок 13).

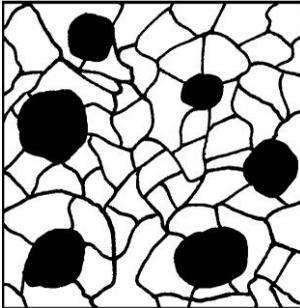


Рисунок 11.- Схема микроструктуры ферритного высокопрочного чугуна. Феррит и шаровидный графит. $\times 200$

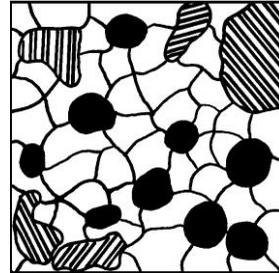


Рисунок 12.- Схема микроструктуры феррито-перлитного высокопрочного чугуна. Феррит, перлит и шаровидный графит. $\times 200$

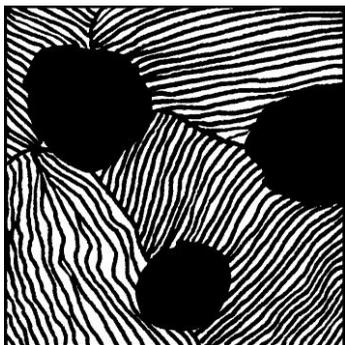


Рисунок 13.- Схема микроструктуры перлитного высокопрочного чугуна. Перлит и шаровидный графит. $\times 600$

Таким образом, у серого, ковкого и высокопрочного чугуна металлической основой является сталь, разобшенная графитными включениями различной формы.

Чугун с шаровидным графитом обладает высокими механическими свойствами и называется высокопрочным (ГОСТ 7293-79).

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Уясните цель работы.
- 3.2. Сопоставьте, каким образом получают различные виды чугуна.
- 3.3. Изучите микроструктуру чугунов при нормальной температуре (альбом, с.13-16).
- 3.4. Изобразите схемы микроструктур различных видов чугуна в нетравленном состоянии и после травления универсальным реактивом - 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте.
- 3.5. Выполните микроструктурный анализ различных видов чугуна.
- 3.6. Проследите за формированием структуры одного из сплавов белого чугуна при охлаждении из жидкого состояния.
- 3.7. Составьте отчет о работе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Цель работы.
- 4.2. Определение чугуна.
- 4.3. Классификация чугуна.



- 4.4. Определение структурных составляющих чугуна.
- 4.5. Характеристика белого, серого, ковкого, высокопрочного чугунов, особенности их получения, структуры и свойств.
- 4.6. Схемы микроструктур чугуна.
- 4.7. Микроструктурный анализ чугуна.
- 4.8. Схемы вероятных микроструктур одного из сплавов белого чугуна при охлаждении из жидкого состояния.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Какой сплав называется чугуном?
- 5.2. Назовите виды чугуна.
- 5.3. Какой чугун называется белым?
- 5.4. Какова форма графитовых включений в сером, ковком и высокопрочном чугуне?
- 5.5. Что представляют собой структурные составляющие чугуна - феррит, цементит, перлит, ледебурит, графит и какими основными свойствами они обладают?
- 5.6. Какие факторы влияют на процесс графитизации чугуна?
- 5.7. Какая металлическая основа может быть у чугунов, содержащих графит, и от чего она зависит?
- 5.8. Что представляет собой фосфидная эвтектика и в каком чугуне она встречается?
- 5.9. Какой процесс называется графитизацией?
- 5.10. Какие факторы влияют на процесс графитизации?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев А.П. *Металловедение.* - М.:Металлургия, 1986. 544 с.
2. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка.* - М.:Металлургия, 1984. 360 с.
3. Геллер П.А., Рахштадт А.Г. *Материаловедение.* - М.:Металлургия, 1989. 456 с.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

МИКРОСТРУКТУРА ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение микроструктуры цветных сплавов.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Диаграммы состояния определяют фазовый состав и структуру сплавов в условиях равновесия, дают возможность решать вопросы их упрочнения путем термической обработки и поэтому являются основой классификации сплавов цветных металлов. По технологическим свойствам сплавы делят на деформируемые, находящиеся в состоянии твердых растворов и хорошо обрабатываемые давлением, и литейные, имеющие в структуре эвтектику и обладающие наилучшей жидкотекучестью. По способности упрочняться с помощью термической обработки цветные сплавы подразделяют на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой - закалкой без полиморфного превращения и старением.

Упрочняемыми термической обработкой являются сплавы, для которых характерно уменьшение растворимости компонентов в твердом состоянии при снижении температуры до нормальной (комнатной). В промышленности широкое применение находят как двойные, тройные, так и поликомпонентные сплавы цветных металлов, фазовый состав и структура которых в условиях равновесия определяются соответствующими диаграммами состояния. Несмотря на это, при небольшом содержании легирующих элементов в большинстве случаев вполне достаточным для качественного описания изменений фазового состава, структуры является использование наглядных двойных диаграмм состояния "цветной металл - основной легирующий элемент". В соответствии с подобной диаграммой "алюминий - легирующий элемент" (рисунок 1) сплавы с содержанием легирующего элемента до проекции точки В на ось концентраций являются деформируемыми, а с большим содержанием - литейными. При этом сплавы с содержанием легирующего элемента до точки D не упрочняются в ре-



Общее материаловедение и технологии материалов

зультате термической обработки, а сплавы с большим содержанием являются упрочняемыми термической обработкой. Наиболее широко распространены цветные сплавы на основе алюминия, меди, магния, олова.

Алюминиевые сплавы в соответствии с диаграммой состояния "алюминий - легирующий элемент" (см. рисунок 1) делят на деформируемые и литейные. Промышленное применение находят как двойные деформируемые сплавы алюминия с медью, магнием, марганцем, кремнием, так и поликомпонентные сплавы систем Al-Cu-Mg (дуралюмины), Al-Cu-Si (авиали) и др.

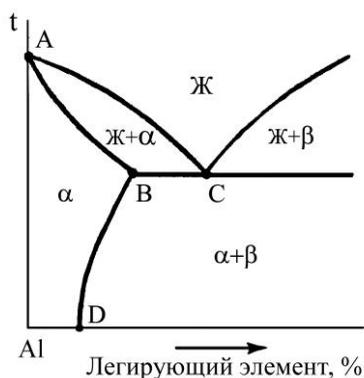


Рисунок 1.- Фрагмент диаграммы состояния системы алюминий - легирующий элемент

Значительное место среди этих сплавов занимают дуралюмины, маркируемые буквой Д и цифрами, характеризующими порядковый номер сплава по ГОСТ 4784-74, например, Д1, Д6, Д16.

Наиболее распространенный из них сплав марки Д1 содержит в качестве легирующих элементов 3,8-4,8%Cu; 0,4-0,8%Mg; 0,4-0,8%Mn. Дуралюмины относятся к сплавам, упрочняемым термической обработкой. К литейным относятся сплавы алюминия с кремнием, медью, магнием.

Литейные сплавы маркируются буквами АЛ и цифрами, обозначающими порядковый номер сплава (ГОСТ 2685-75), например, АЛ2, АЛ3. Наибольшее распространение получили силумины (сплавы алюминия с кремнием), содержащие от 5 до 13% Si. Фазовый состав, структуру и свойства силуминов можно варьировать изменением химического состава, модифицированием - введением веществ, которые уже в малых количествах (обычно



Общее материаловедение и технологии материалов

не более десятых долей процента) способствуют кристаллизации структурных составляющих в измельченной форме, а также термической обработкой. В качестве модифицирующих добавок используются марганец, никель, хром, титан, ванадий, и некоторые другие элементы. Силумины обычно модифицируют натрием, который в жидкий сплав вводят в виде смеси фтористых и хлористых солей натрия в соотношении $2/3\text{NaF}+1/3\text{NaCl}$.

Важнейшими сплавами на основе меди являются латуни (сплавы меди с цинком) и бронзы (сплавы меди со всеми элементами, кроме цинка). По технологическим свойствам медные сплавы подразделяют на деформируемые и литейные, по способности упрочняться - на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Двойные деформируемые латуни маркируются буквой Л и цифрой, показывающей среднее содержание меди в процентах (ГОСТ 15527-70), например, Л96, Л90, Л80, Л70, Л62, Л59. Латуни с содержанием меди 90% и более называются томпаком (например, сплав марки Л96), при 80-85% - полутомпаком (Л80). В марках легированных деформируемых латуней кроме цифры, показывающей содержание меди, указываются буквы и цифры, обозначающие легирующий элемент и его содержание в процентах. Например, сплав ЛАН59-3-2 содержит 59%Cu, 3%Al, 2%Ni, остальное Zn. В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а содержание каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, его обозначающей. Например, сплав ЛЦ40Мц3А содержит 40%Zn, 3%Mn, 1%Al, остальное Cu.

Бронзы по основным легирующим элементам подразделяют на оловянистые, свинцовистые, кремнистые и др. В бронзах в качестве легирующей добавки в небольших количествах может присутствовать и цинк. Деформируемые бронзы маркируют буквами Бр, за которыми следуют буквы и цифры, обозначающие название и содержание в процентах легирующих элементов (ГОСТ 5017-74). Например, сплав БрОЦС4-4-2,5 содержит 4%Sn, 4%Zn, 2,5%Pb, остальное Cu. В марках литейных бронз (ГОСТ



613-73) содержание каждого легирующего элемента указывается сразу после буквы, обозначающей его название. Например, сплав BrO6Ц6C3 содержит 6%Sn, 6%Zn, 3%Pb, остальное Cu .

Магниевые сплавы, легирующими элементами которых являются алюминий, цинк, кремний, а также редкие металлы - неодим, торий и другие, подразделяются на деформируемые и литейные, маркируемые соответствующими буквами МА и МЛ и цифрами, соответствующими номеру сплава (ГОСТ 14957-76 и 2856-79). Магниевые сплавы, как деформируемые, так и литейные, подвергают модифицированию и упрочняющей термической обработке.

Сплавы на основе олова (оловянистые баббиты) являются высококачественными антифрикционными материалами, для которых важным является наличие гетерогенной (неоднородной) структуры, состоящей из мягкой, пластичной основы, обеспечивающей прирабатываемость подшипника к валу, и твердых включений, упрочняющих материалы и препятствующих схватыванию трущихся поверхностей. Оловянистые баббиты представляют собой трехкомпонентные сплавы системы олово-сурьма-медь. Наиболее широкое применение имеет сплав марки Б83 (ГОСТ 1320-74), содержащий 83%Pb, 11%Sb и 6%Cu.

2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Микроструктура цветных сплавов в условиях равновесия или близких к ним может быть определена с помощью их диаграмм состояния.

2.1. Микроструктура сплавов на основе алюминия

В качестве характерных представителей деформируемых и литейных алюминиевых сплавов в работе используются соответственно литой дуралюмин марки Д1 и силумин марки АЛ2.

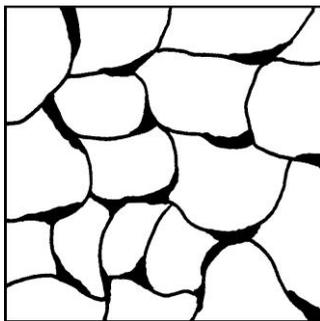


Рисунок 2.- Схема микро-структуры дуралюмина марки Д1 в литом состоянии. α -фаза и Θ -фаза. $\times 340$

Основу сплавов типа дуралюмин составляет система Al-Cu-Mg. В соответствии с ней медь и магний имеют ограниченную растворимость в твердом состоянии в алюминии, а избыточными фазами, выделяющимися при охлаждении из α -твердого раствора меди и магния в алюминии в связи с уменьшением растворимости компонентов при снижении температуры являются соединения CuAl_3 и Al_2MgCu , называемые соответственно Θ и S фазами.

Поскольку магний в сплаве находится в небольшом количестве, то фаза S при используемых в работе увеличениях микроскопа в структуре не обнаруживается. Поэтому наблюдаемая микроструктура сплава марки Д1 в литом состоянии состоит из светлых зерен α -твердого раствора меди и магния в алюминии и темных включений Θ -фазы (соединения CuAl_2), располагающихся по границам зерен α -фазы (рисунок 2). Такую структуру дуралюмина марки Д1 можно предсказать, исходя из двойной диаграммы состояния системы Al-Cu, подобной изображенной на рис.1.

Дуралюмины, как и авиали (сплавы системы Al-Cu-Si) применяют для изготовления горячей или холодной обработкой давлением листов, труб, проволоки, плит и различных профилей. Микроструктура силуминов соответствует двойной диаграмме состояния системы Al-Si (рисунок 3), доэвтектические сплавы состоят из первичных кристаллов α -твердого раствора кремния в алюминии и зерен эвтектики ($\alpha+\beta$). В свою очередь, структура заэвтектических сплавов состоит из крупных первичных кристаллов - твердого раствора алюминия в кремнии в виде игл и зерен эвтектики ($\alpha+\beta$). В соответствии с диаграммой состояния Al-Si сплав марки АЛ2, содержащий 12-13%Si, является заэвтектическим.

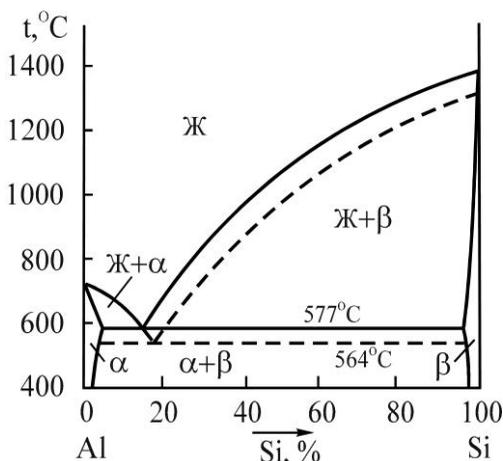


Рисунок 3.- Диаграмма состояния системы алюминий – кремний

Поэтому его микроструктура состоит из более темных крупных игл β -твердого раствора алюминия в кремнии и эвтектики в виде более темных игл β -твердого раствора алюминия в кремнии на светлом поле α -твердого раствора кремния в алюминии (рисунок 4). Сплав в таком структурном состоянии обладает низким комплексом механических свойств (предел прочности при растяжении $\sigma_B=130-140\text{МПа}$, относительное удлинение $\delta=1-2\%$).

Поэтому для повышения свойств производят модифицирование. Применительно к силуминам оно заключается в обработке перед разливкой сплава смесью фтористых и хлористых солей натрия в соотношении $2/3\text{NaF}+1/3\text{NaCl}$. Это обеспечивает введение в сплав $0,1\%\text{Na}$, который осуществляет модифицирующее действие, затрудняя кристаллизацию β -твердого раствора алюминия в кремнии. Модифицирование вызывает смещение линий на диаграмме состояния Al-Si (см. рисунок 3). Эвтектическая точка ($11,6\%\text{Si}$) перемещается вправо, приобретая концентрацию кремния $14,6\%$, в результате чего сплав становится доэвтектическим, что исключает из структуры крупные первичные иглы β -твердого раствора алюминия в кремнии и тем самым повышает пластичность. Линия эвтектического превращения снижается с 577 до 564°C , в связи с чем эвтектика ($\alpha+\beta$) вместо грубоигольчатой становится мелкозернистой. Поэтому микроструктура сплава мар-



ки АЛ2 после модифицирования состоит из светлых первичных зерен α -твердого раствора кремния в алюминии и мелкозернистой эвтектики в виде более темных включений β -твердого раствора алюминия в кремнии на светлом поле α -твердого раствора кремния в алюминии (рисунок 5). Силумины применяются для изготовления корпусов компрессоров, картеров и блоков цилиндров двигателей и др.

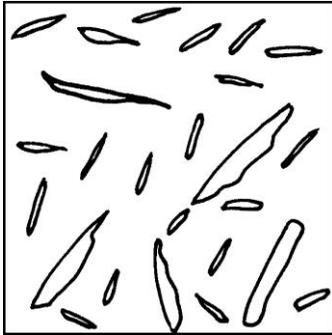


Рисунок 4.- Схема микроструктуры силумина марки АЛ2 до модифицирования, β -фаза и эвтектика ($\alpha+\beta$). $\times 250$

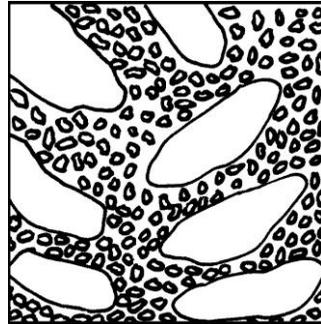


Рисунок 5.- Схема микроструктуры силумина марки АЛ2 после модифицирования. α -фаза и эвтектика ($\alpha+\beta$). $\times 250$

2.2. Микроструктура сплавов на основе меди

В качестве характерных представителей сплавов на медной основе в работе используются сплавы марок Л68 и Л59 (латуни) и БрО10 и БрС30 (бронзы).



Общее материаловедение и технологии материалов

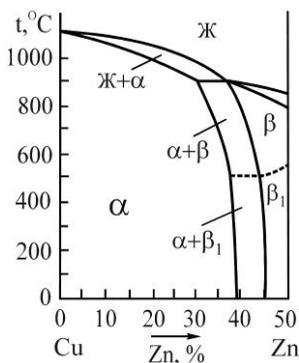


Рисунок 6.- Фрагмент диаграммы состояния системы медь-цинк

Микроструктура двойных низколегированных латуней в условиях равновесия определяется диаграммой состояния системы Cu-Zn. На рисунке 6 приведен фрагмент этой диаграммы, отражающей фазовые равновесия в сплавах с содержанием цинка до 50%, поскольку промышленное применение находят латуни, содержащие до 45%Zn. В соответствии с этой диаграммой состояния латуни по структуре делятся на однофазные

(α -латуни), содержащие до 39%Zn и состоящие из зерен α -твердого раствора цинка в меди, и двухфазные ($\alpha + \beta$)-латуни, содержащие от 39 до 45%Zn и состоящие из зерен α -твердого раствора цинка в меди и зерен β -твердого раствора на основе соединения CuZn.

Однофазные α -латуни обладают высокой пластичностью при нормальной (комнатной) температуре. Поэтому однофазные латуни выпускают в виде полуфабрикатов, полученных холодной обработкой давлением (штамповкой, прокаткой или протяжкой) листов, труб, лент, проволоки, из которых методом глубокой вытяжки изготавливают радиаторные трубы, снарядные гильзы, сильфоны, трубопроводы, а также производят детали (шайбы, втулки, уплотнительные кольца), не требующие высокой твердости. Холодная обработка вызывает наклеп.

В наклепанном состоянии латунь с содержанием цинка 20% и выше подвержена растрескиванию по границам зерен, имеет низкую коррозионную стойкость. Поэтому ее подвергают рекристаллизационному отжигу, в результате чего однофазная латунь приобретает зеренную структуру с характерными для пластичных сплавов двойниками. На рисунке 7 показана микроструктура



тура однофазной латуни марки Л68. Поскольку зерна α -фазы выходят на поверхность микрошлифа различными кристаллографическими плоскостями, степень их травимости реактивом различна и они имеют неодинаковую окраску.

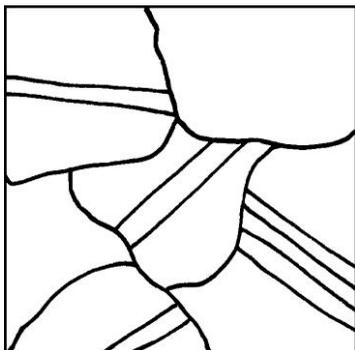


Рисунок 7.- Схема микроструктуры однофазной латуни марки Л68 после холодной пластической деформации и рекристаллизационного отжига, α -фаза. $\times 440$

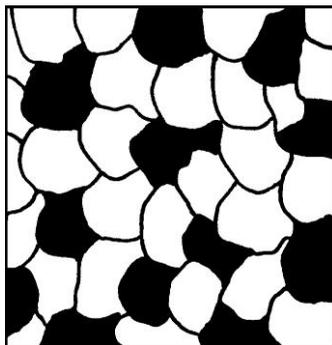


Рисунок 8.- Схема микроструктуры двухфазной латуни марки Л59 в литом состоянии. α -фаза и β -фаза. $\times 440$

Микроструктура двухфазной латуни марки Л59 в литом состоянии, представленная на рисунке 8, состоит из светлых зерен α -твердого раствора цинка в меди и темных (более богатых цинком и травящихся сильнее) зерен β -твердого раствора на базе химического соединения CuZn. Присутствие в структуре β - фазы, имеющей низкую пластичность и высокую твердость, повышает характеристики прочности латуней. Двухфазные латуни являются более пластичными при температурах выше 500°C . Поэтому эти латуни выпускают в виде полуфабрикатов, полученных горячей обработкой давлением, - листов, прутков, труб, штамповок, из которых изготавливают втулки, гайки, тройники, штуцеры, токопроводящие детали электрооборудования и др.

Легированные латуни применяют в качестве деформируемых и литейных. Последние, как правило, содержат большое количество цинка и легирующих элементов.



Общее материаловедение и технологии материалов

В промышленности находят применение как двойные – оловянные, свинцовистые и др. бронзы, так и многокомпонентные, содержащие кроме основных легирующих элементов добавки свинца, цинка, фосфора и никеля.

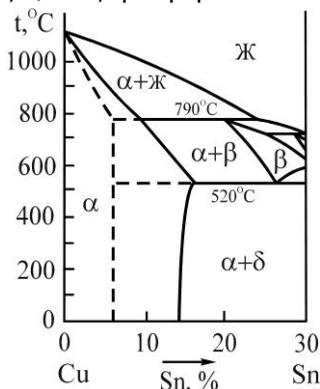


Рисунок 9.- Фрагмент диаграммы состояния системы медь-олово

Микроструктура двойных оловянных бронз определяется диаграммой состояния системы Cu-Sn. На рисунке 9 приведен фрагмент этой диаграммы для сплавов с содержанием олова до 30%, поскольку промышленное применение имеют сплавы, содержащие до 20%Sn. Сплошными линиями показаны границы фазовых областей равновесной системы.

В соответствии с этой диаграммой состояния бронзы по структуре делятся на однофазные,

состоящие из зерен α -твердого раствора олова в меди, и двухфазные, состоящие из зерен α -твердого раствора олова в меди и зерен эвтектоида ($\alpha+\delta$), в котором δ -фаза представляет собой соединение $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$.

При очень медленном охлаждении протекает равновесная кристаллизация и граница между однофазными и двухфазными бронзами соответствует 14% олова. В реальных заводских условиях при литье в металлические и земляные формы происходит ускоренное охлаждение сплавов, в связи с чем диффузия атомов олова в меди затрудняется и сплавы ведут себя так, как если бы



Общее материаловедение и технологии материалов

растворимость олова в меди была постоянной, равной 6-8%, и не менялась с температурой (пунктирные линии на рисунок 9). Исходя из этого, однофазными являются бронзы с содержанием олова не более 5-6%. Такие сплавы имеют высокую пластичность и являются деформируемыми.



Рисунок 10.- Схема микроструктуры двухфазной бронзы марки BrO10 в литом состоянии. α -фаза и эвтектоид ($\alpha+\delta$). $\times 600$

Бронзы, содержащие олово в большом количестве, по структуре являются двухфазными. Микроструктура двухфазной бронзы марки BrO10 состоит из темных зерен α -твердого раствора олова в меди и зерен эвтектоида ($\alpha+\delta$) (рисунок 10). Основой эвтектоида является δ -фаза (химическое соединение $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$), на белом поле которой расположены мелкие темные выделения α -фазы. Наличие твердой и хрупкой δ -фазы исключает возможность обработки давлением, поэтому такие бронзы применяют только в литом состоянии.

Для повышения свойств в оловянистые бронзы вводят различные добавки: цинк для улучшения жидкотекучести и повышения плотности отливок; фосфор как раскислитель для устранения нежелательной окиси олова SnO_2 , присутствующей в бронзах в виде твердых и хрупких включений; свинец для улучшения обрабатываемости резанием и повышения уровня антифрикционных свойств. Оловянистые бронзы с перечисленными добавками находят в промышленности более широкое применение, чем двойные сплавы. В качестве примера можно назвать литейные бронзы марок BrO5Ц5С5, BrO10Ф1 и др., деформируемые



Общее материаловедение и технологии материалов

бронзы марок БрОФ6,5-0,4, БрОЦ4-3 и др. Оловянистые бронзы используются для изготовления паровой и водяной арматуры, подшипников скольжения, втулок, зубчатых колес, деталей приборов.

Микроструктуру свинцовистых бронз можно охарактеризовать с помощью двойной диаграммы состояния системы Cu-Pb (рисунок 11). Как видно из диаграммы состояния, свинцовистая бронза марки БрС30 с содержанием свинца 30% является доэвтектическим сплавом и его структура при нормальной (комнатной) температуре должна состоять из зерен α -твердого раствора свинца в меди и эвтектики, состоящей из α -твердого раствора свинца в меди и β -твердого раствора.

Однако эвтектика по составу совпадает с чистым свинцом (99,98%), а α -фаза - с чистой медью, поэтому можно сказать, что фактически микроструктура сплава состоит из зерен двух металлов - свинца и меди.

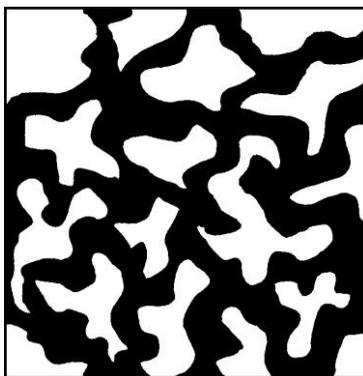
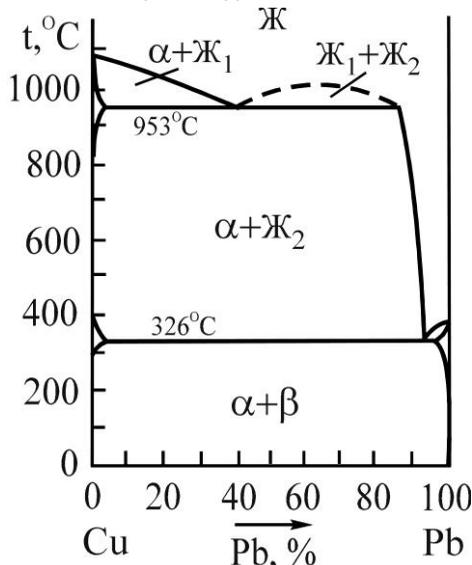


Рисунок 12.- Схема микроструктуры свинцовистой бронзы марки БрС30 в литом состоянии. α -фаза и эвтектика ($\alpha + \beta$). $\times 340$

Рисунок 11.- Диаграмма состояния системы медь-свинец

На рисунке 12 представлена микроструктура свинцовистой



бронзы марки БрСЗО, состоящая из светлых зерен α -фазы (фактически меди) и темных зерен эвтектики (фактически свинца). Свинцовистые бронзы являются высококачественными антифрикционными материалами и применяются для изготовления опорных и шатунных подшипников мощных турбин, авиационных моторов, дизелей и других машин.

2.3. Микроструктура сплавов на основе магния

Микроструктура магниевых сплавов в равновесном состоянии определяется соответствующими диаграммами состояния. В качестве примера на рисунке 13 приведена микроструктура сплава МЛ5, содержащего помимо магния 8%Al; 0,8%Zn и 0,3%Mn. Алюминий и цинк введены в сплав для упрочнения, а марганец - для повышения коррозионной стойкости.

Поскольку растворимость цинка в магнии в твердом состоянии составляет не менее 1,7% и, следовательно, все количество цинка входит в твердый раствор, не присутствуя в сплаве как самостоятельная структурная составляющая, а марганцовистая фаза при используемых в работе увеличениях ввиду малого ее количества не выявляется, то микроструктура сплава марки МЛ5 может быть определена в соответствии с двойной диаграммой состояния системы Mg-Al (рисунок 14).

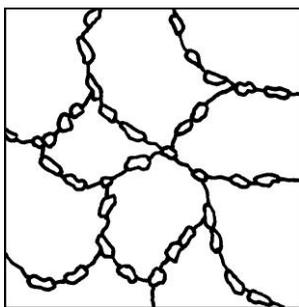


Рисунок 13.- Схема микроструктуры сплава марки МЛ5 в литом состоянии, α -фаза и γ -фаза (Mg_4Al_3). $\times 600$

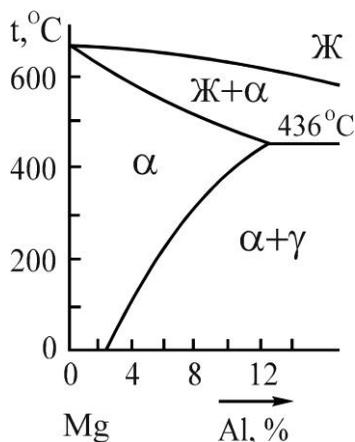


Рисунок 14.- Фрагмент диаграммы состояния системы магний - алюминий

Микроструктура сплава марки МЛ5 (см. рисунок 13) состоит из светлых зерен α -твердого раствора алюминия в магнии и более темных включений γ -фазы (соединения Mg_4Al_3), располагающихся по границам зерен α -фазы.

2.4. Микроструктура сплавов на основе олова

Микроструктура сплавов на основе олова в равновесном состоянии также может быть определена с помощью соответствующих диаграмм состояния, например, оловянистого баббита марки Б83 - с помощью тройной диаграммы состояния системы Sn-Sb-Cu. Микроструктура этого сплава в литом состоянии состоит из тройной эвтектики в виде основного темного поля α -твердого раствора сурьмы в олове и равномерно распределенных светлых мелких включений соединения SnSb и Cu_6Sn_5 , светлых крупных кристаллов соединения SnSb и светлых мелких кристаллов соединения Cu_6Sn_5 в виде игл или звездочек (рисунок 15).



Рисунок 15ю- Схема микроструктуры баббита марки Б83 в литом состоянии. SnSb, Cu_6Sn_5 и тройная эвтектика ($\alpha + \text{SnSb} + \text{Cu}_6\text{Sn}_5$). $\times 200$

Соединение Cu_6Sn_5 кристаллизуется в первую очередь и равномерно распределяется в объеме жидкости, образуя своеобразную сетку, препятствующую ликвации по удельному весу легких кристаллов SnSb. При этом вся медь, находящаяся в сплаве, расходуется на образование соединения SnSb.

Мягкая, пластичная основа в виде тройной эвтектики и твердые включения соединений SnSb и Cu_6Sn_5 обеспечивают высокий уровень антифрикционных свойств и применяются для заливки подшипников газовых турбин, турбокомпрессоров, турбонасосов и др.

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Уясните цель работы.
- 3.2. Изучите классификацию, характеристику и особенности формирования структуры цветных сплавов в условиях равновесия.
- 3.3. Изучите микроструктуру цветных сплавов.
- 3.4. Изобразите схемы микроструктур изученных цветных сплавов.
- 3.5. Выполните микроструктурный анализ цветных сплавов.
- 3.6. Проследите, используя диаграмму, за формированием структуры одного из сплавов при охлаждении из жидкого состояния.
- 3.7. Составьте отчет о работе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Цель работы.



- 4.2. Классификация и краткая характеристика изученных сплавов.
- 4.3. Схемы микроструктур цветных сплавов.
- 4.4. Микроструктурный анализ цветных сплавов.
- 4.5. Схемы вероятных микроструктур в процессе охлаждения из жидкого состояния одного из цветных сплавов.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. По какому принципу цветные сплавы делят на литейные и деформируемые?
- 5.2. Какие сплавы называются дуралюминами, какие - силуминами?
- 5.3. В чем заключается модифицирование силумина, какое изменение в структуре и свойствах оно вызывает?
- 5.4. Какие сплавы называются латунями, какие бронзами?
- 5.5. В чем различие по составу, структуре и свойствам однофазных и двухфазных латуней?
- 5.6. Каково влияние олова на структуру и свойства оловянистых бронз?
- 5.7. Какой состав, структуру и свойства имеет свинцовистая бронза марки БрСЗО?
- 5.8. Какие легирующие элементы используются в магниевых сплавах?
- 5.9. Каковы требования, предъявляемые к антифрикционным материалам? Какова структура баббита марки Б83?
- 5.10. Каковы принципы маркировки цветных сплавов?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев А. П. Металловедение.- М.: Металлургия, 1986. 544 с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов.- М.: Металлургия, 1984. 360 с.
3. Материаловедение/ Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др.- М.: Машиностроение, 1986. 384 с.
4. Геллер Ю.А., Рахштадт А. Г. Материаловедение.- М.: Металлургия, 1986. 456 с.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТМАСС

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение состава, назначения составляющих, классификации и использования пластмасс, а также их основных свойств.

1. СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС

Пластмассами называют искусственно изготовленные материалы, состоящие из высокополимерных органических соединений и других веществ, обладающих способностью принимать под действием температуры и давления заданную форму и сохранять ее после затвердевания. Высокополимерными называют соединения, молекулы которых состоят из связанных друг с другом многократно повторяющихся частиц – элементарных звеньев.

В состав сложных пластмасс входят различные вещества, которые по выполняемым функциям называют наполнителями, пластификаторами, красителями, смазывающими веществами, стабилизаторами.

Наполнители – вещества, вводимые в полимерные материалы для придания требуемых свойств. Количество их составляет 40-70%. В зависимости от формы частиц наполнители подразделяются на порошковые (древесная и кварцевая мука, порошки металлов, слюда), волокнистые (асбестовое, стеклянное, хлопчатобумажное и синтетическое волокно), листовые, армирующие (бумага, хлопчатобумажные, стеклянные ткани, проволочные сетки, металлическая фольга).

Пластификаторы придают твердому полимеру пластичность и упругость. В качестве пластификатора применяют камфору, крезилфосфат, дибутилфосфат и др.

Красители, вводимые в количестве 1,0-1,5%, окрашивают пластмассы в требуемый цвет (охра, окись хрома и др.).

Смазывающие вещества предотвращают прилипание прессуемых изделий к пресс-формам (олеиновая кислота, стеарат кальция и др.).



Стабилизаторы предотвращают распад полимера под действием света или повышенной температуры. Например, для защиты полиэтилена от действия ультрафиолетовых лучей в него вводят сажу.

Все пластмассы органического происхождения разделяются по **химической природе полимера** на 4 класса.

Класс А – пластмассы на основе полимеров, получаемых цепной полимеризацией. Полимеризация – реакция, при которой образование полимера происходит путем соединения одинаковых молекул с прибавлением концевых групп без выделения каких-либо побочных продуктов реакции. Образующийся таким путем полимер имеет молекулярный вес, равный сумме молекулярных весов вступивших в реакцию молекул. К классу А относятся: полиэтилен, полихлорвинил, полистирол, фторопласт, акрилопласты.

Класс Б – пластмассы на основе высокополимеров, получаемых поликонденсацией. Поликонденсация – реакция образования высокомолекулярных веществ, сопровождаемая выделением побочных продуктов (вода, аммиак и др.). В результате получают макромолекулы линейного и пространственного строения. К классу Б относятся: фенопласты, наволочные, резольные и эпоксидные смолы, капрон, нейлон и др.

Класс В – пластмассы на основе химически модифицированных природных полимеров. При модификации природных полимеров различными химическими воздействиями сохраняется скелет молекулы исходного вещества. К классу В относятся: целлюлоза, нитроцеллюлоза, ацетилцеллюлоза, этрол и др.

Класс Г – пластмассы на основе природных и нефтяных асфальтовых смол, получаемых при сухой перегонке различных органических веществ. К этому классу относятся битумоасфальтовые пластмассы.

В зависимости от **поведения пластмасс при переработке** в изделия их разделяют на термопластичные и термореактивные.

Термопластичные материалы (термопласты) под действи-



ем температуры и давления переходят в пластичное состояние, не претерпевая существенных химических изменений. Их превращения обратимы. При действии температуры и давления они повторно переходят в пластичное состояние и могут быть многократно переформованы. К числу наиболее распространенных термопластов относятся: полиэтилен, полипропилен, полихлорвинил, оргстекло, фторопласт, полистирол, капрон и др.

Термореактивные материалы (реактопласты) под действием температуры и давления также переходят в пластичное состояние, но при этом претерпевают существенные химические изменения. Их превращения необратимы. При повторном действии температуры и давления они не переходят в пластичное состояние и не могут быть повторно переформованы. К числу реактопластов относятся: фенопласты, аминопласты, эпоксидные смолы, текстолит, гетинакс и др.

Различные пластмассы обладают различными **свойствами**. К положительным свойствам пластмасс относятся следующие:

1. Низкий удельный вес. Пластмассы в среднем в 2 раза легче алюминиевых сплавов. Удельный вес в значительной степени определяется химическим составом полимера и его структурой. Наиболее легкими являются полимеры с линейными макромолекулами (около $0,9 \text{ г/см}^3$). Увеличение удельного веса полимера вызывают галогены (фтор, хлор, иод). Кристаллические полимеры несколько тяжелее аморфных. Значительное влияние на удельный вес пластмасс оказывают наполнители и пластификаторы.

2. Относительно высокие прочностные свойства. Отдельные виды пластмасс прочнее дерева, керамики, цветных металлов и сплавов. Почти все виды пластмасс обладают достаточно высокими значениями ударной вязкости. Механические свойства обусловлены структурными особенностями материала и зависят от степени полимеризации и взаимного расположения молекул полимера. При увеличении числа молекул полимера выше определенного значения его механические свойства улучшаются, так как разрыв будет происходить по главной валентной связи, имеющей



Общее материаловедение и технологии материалов

постоянное значение. Так как величина межмолекулярных сил в большой степени зависит от расстояния между молекулами, к увеличению прочности приводит ориентация линейных молекул, позволяющая сблизить соседние цепи. Механические свойства полимерных материалов в значительной степени зависят от внешних факторов: температуры, влажности, ультрафиолетового облучения, а также наличия паров растворителя.

3. Высокие диэлектрические свойства. Пластмассы являются одним из лучших электроизоляционных материалов, используемых в электротехнике.

4. Высокая стойкость к агрессивным средам. Особенно высокой химической стойкостью обладает фторопласт-4.

5. Относительно высокая теплостойкость, составляющая 70-300°C.

6. Хорошие клеящие свойства. Используются для изготовления клеев, лакокрасочных покрытий, замазок.

7. Хороший товарный вид.

8. Некоторые виды пластмасс прозрачны, пропускают ультрафиолетовые лучи, обладают звукоизоляцией, поглощают и гасят вибрации и т.д.

К отрицательным свойствам пластмасс можно отнести:

1. Старение (ухудшение со временем свойств и товарного вида).

2. Хладотекучесть (деформация при действии постоянной нагрузки даже при комнатной температуре).

Основные свойства некоторых пластмасс представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные свойства пластмасс



Общее материаловедение и технологии материалов

Наименование	Удельный вес, г/см ³	Предел прочности при растяжении, МПа	Твердость по Бриггеллю, МПа	Ударная вязкость Н/мм ^{3/2}	Относительное удлинение, %	Область применения
Термопластичные пластмассы						
Полиэтилен(ПЭ 150, ПЭ-300)	0,92	1000-1600	430-520	160	150-500	Изоляционные детали
Фторопласт-4	2,2-2,4	1600	30-40	1000	250-500	Детали уплотнений
Полиамид П-68А	1,12-1,15	4000-6000	44,5	1000-2500	100-350	Антифрикционный материал
Терморезистивные пластмассы						
Текстолит	1,3-1,4	5000-12000	250-450	90-110	0,38	Антифрикционный материал
Гетинакс	1,3-1,4	7500-20000	250-400	130-400	1,8-2,0	Детали радиоаппаратуры



Амино-пласт	1,5	4000-6000	350-550	50-60	-	Изделия ширпотреба
-------------	-----	-----------	---------	-------	---	--------------------

Пластмассы нашли широкое применение в промышленности и быту. Полиэтилен используется для изоляции проводов, кабелей, производства деталей радиоаппаратуры, труб, пленок, покрытий металлов и т.д. Из винипласта изготавливают листы, пленки, трубы, стержни, отличающиеся высокой химической стойкостью. Фторопласт применяется для изготовления электро- и радиотехнических деталей, в химическом машиностроении, для покрытия металлов.

Полиамидные смолы (капрон, нейлон) используют как ответственные детали машин и приборов. Эти материалы нашли широкое применение как синтетические волокна. Органическое стекло используется при изготовлении линз и для остекления. Пластмассы являются хорошими заменителями черных, цветных и благородных металлов и сплавов.

2. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ПЛАСТМАСС

1. Испытания на твердость

Твердость пластмасс определяют по методу Бринелля - вдавливанием стального шарика диаметром 5,0 мм в испытуемый материал под действием выбранной нагрузки в течение определенного времени. Испытания проводятся на образцах толщиной не менее 5 мм. Твердость определяется по таблицам в зависимости от диаметра отпечатка шарика на поверхности пластмассы.

2. Испытания на растяжение

При испытании используются образцы из листовых материалов: полиэтилена, текстолита, гетинакса. Кроме того, для сравнения испытываются образцы стальные, медные, алюминиевые.

В результате определяют предел прочности при растяжении σ_B , удельную прочность k_p при растяжении и относительное удлинение δ .

Величину предела прочности при растяжении определяют



по формуле:

$$\sigma_B = \frac{P}{F},$$

где P – величина разрывного усилия, Н; F – площадь поперечного сечения рабочей части образца до испытаний, m^2 .

Величина удельной прочности при растяжении определяется по формуле:

$$k_p = \frac{\sigma_B}{\gamma},$$

где γ – удельный вес испытываемого материала, g/cm^3 .

Величину относительного удлинения δ определяют по формуле:

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

где l_1 – длина образца после разрыва, м; l_0 – расчетная длина образца до разрыва, м.

3. Испытания на ударную вязкость

Определение ударной вязкости проводят на образцах без надреза. Для испытаний используются образцы из древесностружечных плит (ДСП), текстолита, гетинакса. Испытания осуществляются на копре маятникового типа.

Величину ударной вязкости α определяют по формуле:

$$\alpha = \frac{A}{b \cdot h},$$

где A – работа, затрачиваемая на разрушение образца; b и h – соответственно ширина и толщина образца до испытаний.

3. КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИЗДЕЛИЯМ ИЗ ПЛАСТМАСС

Конструктивные особенности изделий из пластмасс обусловлены их свойствами и способами получения. При проектиро-



вании деталей (особенно изготавливаемых литьем под давлением и прессованием) необходимо учитывать следующие основные особенности.

Процесс изготовления изделий сопровождается большой усадкой. Поэтому в конструкциях не допускается значительной разностенности, которая вызывает коробление деталей и образование трещин.

Для повышения жесткости в конструкции деталей необходимо вводить ребра жесткости. Для малогабаритных деталей роль ребра жесткости могут выполнять выступы или впадины.

Если возможно по конструктивным соображениям, детали необходимо выполнять с большой конусностью. Сквозные отверстия лучше располагать не в сплошных массивах, а в специальных бобышках с тонкими стенками, что снижает усадку и усилие обхвата стержней пресс-форм.

В конструкциях деталей не следует делать острых углов в местах сопряжения поверхностей, так как это может привести к образованию трещин.

Для облегчения извлечения детали из пресс-формы на наружной и внутренних формообразующих поверхностях необходимо предусматривать технологические уклоны.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Указать цель работы.

4.2. Изучить и описать состав и основные разновидности пластмасс.

4.3. Описать положительные и отрицательные свойства пластмасс, указать область их применения.

4.4. Провести эксперименты по определению основных свойств пластмасс.

4.5. Изучить и описать конструкторско-технологические требования к изделиям из пластмасс.



5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Каков состав пластмасс? Какие функции выполняют входящие в них вещества?

5.2. На какие классы делятся пластмассы?

5.3. В чем основное различие термопластичных и термоактивных пластмасс?

5.4. Какими положительными и отрицательными свойствами обладают пластмассы?

5.5. Как проводят испытания пластмасс на твердость?

5.6. В чем сущность испытаний пластмасс на растяжение? Какие основные свойства при этом определяются?

5.7. Как определяется ударная вязкость пластмасс?

5.8. Какие конструктивно-технологические требования предъявляются к изделиям из пластмасс?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ СТЕКЛА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с некоторыми методами контроля свойств стекла.

1. СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СТЕКЛА

Стекло, являясь разновидностью аморфных веществ, представляет собой прозрачный материал, получаемый плавлением и последующим охлаждением различных комбинаций окислов, которые по назначению подразделяются на стеклообразующие, модифицирующие и промежуточные.

К **стеклообразующим** окислам относятся окислы кремния, бора, фосфора, германия и мышьяка. К **модифицирующим** окислам, которые используются для изменения физико-химических свойств стекла, относятся окислы щелочных и щелочно-земельных металлов. К **промежуточным** окислам относятся окислы алюминия, свинца, железа, титана, бериллия, которые могут замещать некоторую часть стеклообразующих окислов в структурном каркасе стекла и обуславливают изменение свойств стекла в нужном направлении.

Стеклообразующий каркас стекол представляет собой непрерывную беспорядочную пространственную трехмерную сетку, в узлах которой расположены ионы, атомы или группировки атомов (рисунок 1).

Химический состав стекол можно изменять в широких пределах, поэтому и свойства стекла могут быть достаточно различными (таблица 1).

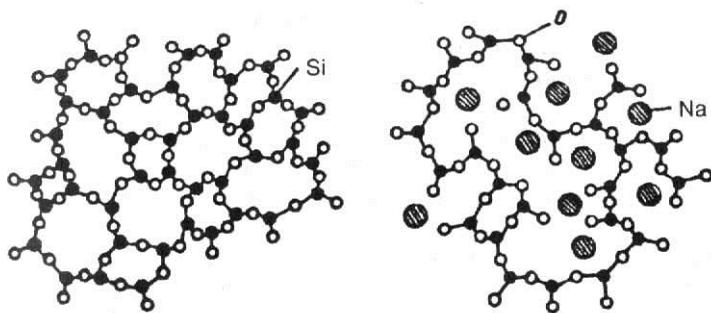


Рисунок 1 - Схема структурной сетки стекла: а – кварцевого, б – натриево-силикатного

Механические свойства стекла можно существенно повысить различными методами упрочнения поверхностного слоя стекла: термической, химической или термохимической обработкой.

Таблица 1 - Свойства некоторых промышленных стекол и ситалла

Стекло	Плотность, г/см ³	σ, МПа при			Температура размягчения, °С	Термостойкость, °С
		сжатию	растяжении	изгибе		
Листовое силикатное	2,0-2,5	600-700	30-70	50-100	-	40-80
«Мазда»	2,6	-	-	-	806	185
МКР-1	2,3	78	-	45-50	650	180
Кварцевое	2,0-2,3	350-650	40-60	45-100	1200	1000
енностекло	0,18-0,8	150-250	50-100	50-100	300-400	110-170



Ситалл	2,4- 2,7	1000-2000	110-160	70-350	1200- 1350	—
--------	-------------	-----------	---------	--------	---------------	---

Термический метод упрочнения заключается в закалке стекла. Сущность закалки стекла заключается в нагреве его до температуры 620-650°C, выдержке при этой температуре и в быстром, равномерном охлаждении с обеих сторон. При такой обработке в поверхностных слоях стекла возникают сжимающие остаточные напряжения, благодаря чему стойкость стекла к статическим нагрузкам возрастает в 4-6 раз, прочность на удар в 5-7 раз, а термическая стойкость в 2-3 раза.

Химический метод упрочнения заключается в удалении дефектного с микротрещинами поверхностного слоя стекла методом химического травления. Наибольший эффект упрочнения достигается в результате комбинированных методов упрочнения.

2. РАЗНОВИДНОСТИ СТЕКЛА

Кварцевое стекло состоит практически из чистого кремнезема (99,5%) SiO_2 и отличается высокими показателями термической и химической стойкости. Из него изготавливают химически стойкую посуду, чехлы для термопар, изоляторы, электровакуумные приборы, работающие при повышенных температурах.

Безосколочное стекло (триплекс) – это комбинированное стекло, состоящее из двух или нескольких слоев обычного промышленного стекла, склеенных с прозрачным эластичным и упругим промежуточным слоем прозрачного органического полимера. Для получения высокопрочных и безопасных в работе безосколочных стекол весьма эффективно склеивание нескольких слоев стекол, предварительно закаленных. Безосколочные стекла применяются для остекления автомашин, самолетов, для изготовления прозрачных экранов к металлорежущим станкам, а также для изготовления приборов, работающих при повышенных температурах и давлениях.

Пеностекло получают вспениванием расплавленного стекла при 700-900°C различными газотворными веществами (мел,



уголь, кокс). Пеностекло имеет малую плотность, его используют как звуко- и теплоизоляционный материал. Кроме того, пеностекло используют для изготовления фильтров, от которых требуется высокая химическая стойкость.

Стекловолоконное волокно получают из расплавленного стекла вытягиванием стекломассы через фильтры или другими способами. Стекловолоконно отличается высокими прочностными свойствами, стойкостью к агрессивным средам и высокой термостойкостью. Ткани из стекловолокна используют для изготовления стеклотекстолитов и т.д.

Стеклокристаллические материалы – ситаллы отличаются от стекла минералогическим составом и микрокристаллическим строением. Процесс получения изделий из ситаллов осуществляется следующим образом. Из расплавленного стекла определенного состава, в котором находятся катализаторы (для создания центров кристаллизации) получают изделия, которые после охлаждения находятся в стеклообразном состоянии. Повторный нагрев до температуры стеклования (400-600°C) вызывает образование в стекле зародышей кристаллизации. На них при нагреве происходит выделение фаз стекла в кристаллическом состоянии. Ситаллы имеют высокую твердость, предел прочности при изгибе (150-500 МПа), высокую термостойкость (700-800°C) и химическую стойкость. Из ситаллов изготавливают подшипники для работы без смазки при температуре 540°C, поршни и цилиндры двигателей внутреннего сгорания и др.

3. ОБРАБОТКА И СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТЕКЛА

При необходимости силикатные стекла можно подвергать механической обработке (разрезке, точению, сверлению, фрезерованию) с применением абразивного и алмазного инструмента. Перспективными являются лазерная и ультразвуковая обработка.

Все силикатные стекла можно соединять неразъемно-клеевым способом. Для склеивания и приклеивания силикатных материалов к другим материалам (металлу, дереву, пластмассам) применяют цементы (портланд - цемент) и различные вязущие (клеевые) композиции на основе синтетических смол.



Неразъемное соединение стекол можно осуществлять сваркой и пайкой. Сварку осуществляют газовой горелкой с применением присадочного прутка из стекла, который, сплавляясь в зоне сварки, дает прочный шов, а пайку – путем нагрева стекол до температуры, при которой вязкость снижается, и механического сдавливания. В результате происходит взаимное смешивание и в процессе охлаждения возникает прочное соединение.

Возможны и разъемные соединения деталей из силикатных материалов – резьбами, выполняемыми при формовании изделий, или с помощью фланцев и т.д.

4. КОНТРОЛЬ СВОЙСТВ СТЕКЛА

Плотность силикатных стекол определяют несколькими методами. Наиболее распространенным является метод гидростатического взвешивания. Для этого образец стекла 5-25 г взвешивают на весах в воздухе и в дистиллированной воде. Плотность стекла вычисляют по формуле:

$$d = \frac{m_1 - m_2}{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)} (\delta - 0,0012) + 0,0012' \quad (1)$$

где m_1, m_3 – вес образца с проволокой соответственно в воздухе и

воде, г; m_2, m_4 – вес проволоки соответственно в воздухе и воде, г;

δ – плотность воздуха при комнатной температуре. г/см³

Прочность стекла зависит от состава, температуры, состояния поверхности, размеров, условий испытаний, наличия дефектов и т.д. Значительное распространение получил контроль микропрочности путем вдавливания алмазной пирамиды прибора ПМТ-3. Микропрочность вычисляется по формуле:

$$H_R = 6720 \frac{P}{4d^2 + l^2}, \quad (2)$$

где P – нагрузка при вдавливании, гс; d – длина диагонали отпечатка алмазной пирамиды, мкм; l – длина диагональной трещины, мкм.

(Трещины проявляются при травлении в слабом рас-



творе плавиковой кислоты).

Существуют различные виды твердости стекла: стеклометрическая, вдавливанием, абразивная и т.д.

Критерием стеклометрической твердости служит ширина царапины, сделанной алмазной пирамидой под нагрузкой от 0,15 до 5,0 гс.

Критерием твердости вдавливанием (микротвердости) служит размер отпечатков, получаемых на поверхности стекла при вдавливании алмазной пирамиды с нагрузкой от 50 до 100 гс.

Продолжительность опускания и соприкосновения алмазной пирамиды с образцом должна быть одинакова во всех измерениях.

Микротвердость определяют прибором ПМТ-3, а численное ее значение находят по формуле:

$$H = \frac{1854P}{d^2}, \quad (3)$$

где P – нагрузка на алмазную пирамиду, кгс; d – длина диагонали отпечатка (обычно не более 10 мкм).

Абразивная твердость измеряется объемом стекла, снятым данным абразивом с единицы поверхности стекла за единицу времени при определенном давлении и скорости шлифования.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Определить плотность стекла.

Подвесив образец стекла к весам тонкой проволокой (0,05-0,01 мм) взвесить его на воздухе и в дистиллированной воде, вычислить плотность по формуле (1).

5.2. Определить объемный вес образца из пеностекла путем взвешивания на весах и определения объема.

Численное значение объемного веса вычислить по формуле:

$$\gamma = \frac{G}{V}$$



Общее материаловедение и технологии материалов

5.3. Определить микропрочность стекла путем вдавливания алмазной пирамиды прибора ПМТ-3 по формуле (2).

5.4. Определить микротвердость по формуле (3).

6. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

6.1. Указать цель работы.

6.2. Изучить и описать основные разновидности стекол.

6.3. Изучить и описать основные методы упрочнения стекла.

6.4. Изучить и описать основные методы контроля свойств стекла.

6.5. Результаты опытов занести в таблицу

Марка стекла	Основные свойства стекла				
	Плотность, г/см ³	Объемный вес, кг/м ³	микропрочность, МПа	стеклометрическая твердость, мкм	микротвердость, МПа

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. Как получают стекло и каков его химический состав?

7.2. Какое строение имеет стекло?

7.3. Какие методы упрочнения стекла Вы знаете?

7.4. Какие существуют разновидности стекол и какое практическое применение они находят?

7.5. Какие существуют способы соединения деталей из стекла?

7.6. Какие основные свойства стекла Вы знаете?

7.7. Какими методами свойства стекла контролируются?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ИЗУЧЕНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ И ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучить макроструктуру и особенности строения древесины, методы определения её основных свойств.

1. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Древесина является универсальным материалом по разнообразию применения в технике, промышленности и в быту.

В машиностроении древесные материалы используются для изготовления шестерен, подшипников, амортизаторов и т.д. Особенно ценны эти материалы как вспомогательные при изготовлении модельной оснастки для производства модельных отливок.

Древесина – природный материал растительного происхождения. Она состоит из 43-54% целлюлозы ($C_6H_{10}O_5$), лигнина, остальное - низкомолекулярные углеводороды и другие компоненты.

Достоинствами древесины, как конструкционного материала являются: малый объемный вес; достаточно высокая удельная прочность; хорошая сопротивляемость ударным и вибрационным нагрузкам; малая теплопроводность; малый коэффициент температурного расширения (в 2-3 раза меньше, чем у стали); высокая стойкость к ряду кислот, солей, масел. Древесина обладает хорошими технологическими свойствами: легко обрабатывается, допускает возможность соединения деталей деревянных конструкций склеиванием, гвоздями, шурупами.

Недостатками древесины являются: гигроскопичность, изменяющая размеры, форму и прочность деревянных деталей; склонность к загниванию; отсутствие огнестойкости.

Для защиты древесины от загнивания деревянные элементы конструкции изолируют от контакта с водой лакокрасочными, пластмассовыми покрытиями. Из химических способов защиты применяются антисептирование деревянных изделий путем пропитки растворами солей NaF , $ZnCl_2$, $CuSO_4$ и др.



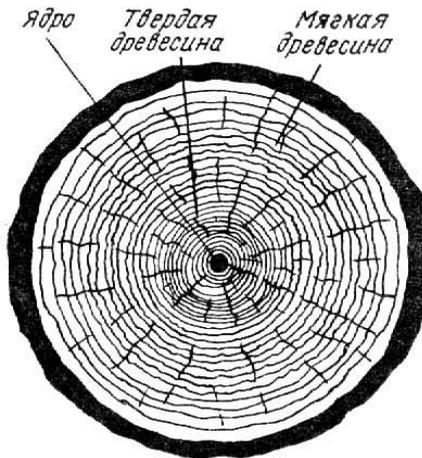
Для снижения воспламеняемости производится пропитка древесины антипиренами, которыми являются алюминиевые соли, соли фосфорной или борной кислот. Применяются также огнезащитные краски и лаки.

Древесина обладает низким значением модуля упругости и анизотропией свойств из-за волокнистости строения.

Знание особенностей строения древесины позволяет существенно снизить природные недостатки ее, как конструкционного материала.

2. МАКРОСТРУКТУРА ДРЕВЕСИНЫ

Так как древесина является волокнистым материалом, то изучение ее строения и свойств проводят по трем разрезам: торцевому (поперечному), перпендикулярному к волокнам, радиальному, проходящем через ось ствола, тангенциальному, идущему вдоль ствола на некотором расстоянии от оси. Каждое дерево состоит из трех основных частей: корня, ствола и кроны. Наибольшее практическое значение для промышленности и строительства имеет ствол, дающий от 50 до 90% древесины от всего объема дерева.



Макростроение древесины хорошо видно на поперечном разрезе ствола (рисунок 1). Кора состоит из наружного пробкового слоя и внутреннего лубового, содержащего мелкие каналы, по которым питательные вещества от кроны идут вниз. Камбий - нежный и сочный слой.



Общее материаловедение и технологии материалов

Рисунок 1.- Сечение ствола дерева. Состоит он из живых клеток. В результате развития клеток камбия в древесине образуется годичный слой или кольцо.

Годичное кольцо состоит из внутреннего слоя, которое образуется весной и называется ранней или весенней древесиной, и наружного слоя, который формируется к концу лета и называется поздней или летней древесиной. Заболонь - светлое кольцо, охватывающее внутреннюю часть ствола за камбием, представляет собой более молодую древесину, а ядро - более старую. Сердцевина в механическом отношении слабая ткань, помещается она в геометрическом центре поперечного сечения ствола. От нее по радиусам к коре идут сердцевинные лучи (волокна), служащие проводником древесных соков внутри ствола. Кроме поперечных волокон (сердцевинных лучей) имеются продольные волокна, составляющие основную массу древесины. Они состоят из тонкостенных механически слабых клеток, количество их составляет 4-30% объема ствола дерева. Хвойные породы древесины имеют также вертикальные и горизонтальные смоляные ходы.

У некоторых пород (дуб, ясень) имеются крупные сосуды, сосредоточенные в весенней зоне годичного кольца, и мелкие сосуды, расположенные в летней зоне кольца. Такие породы называются кольцесосудистыми. Характерные признаки их приведены в таблице 1. Те породы, в которых сосуды расположены равномерно по кольцу (береза, липа), называются рассеянососудистыми. Характерные признаки хвойных пород приведены в таблице 2. Строение колец, содержание летней древесины в них обуславливают механическую прочность как хвойных, так и лиственных пород.

Таблица 1 - Признаки лиственных пород древесины

Цвет ядра	Вес, плот-	Характери-	Макроскопическое строение	Порода
-----------	------------	------------	---------------------------	--------



	нось	стика заболони	торцовый разрез	радиальный разрез	
1	2	3	4	5	6
Кольце-сосудистые породы. Общий признак: расположение сосудов в ранней древесине годовичного слоя в виде кольца					
От светлого до темного бурого	Тяжелая, твердая	Узкая, светлого бурого цвета, отличается от ядра	Годичные слои хорошо различаются. Поздняя древесина годовичного слоя плотного строения. Сосуды идут радиальными рядами. Многочисленны сердцевинные лучи, хорошо различимые в виде темных, матовых или светлых полос.	Широкие сосуды видны в виде бороздок или каналов. Серцевинные лучи имеют вид вертикальных полос. На границе годовичных слоев сердцевинные лучи пересекаются темными линиями.	Дуб
Светло-бурый	Тяжелая, твердая	Широкая, светлая, не резко отличается от ядра	Кольца крупных сосудов хорошо видны, размер сосудов по направлению к поздней части сердцевины уменьшается. Поздняя часть по цвету темнее ранней. Серцевинные лучи очень узкие, тонкие и едва заметные.	Границы годовичных слоев хорошо заметны. Серцевинные лучи не видны.	Ясень



1	2	3	4	5	6
<p>Рассеянно-сосудистые породы. Общий признак: сосуды крупные и мелкие, распределены по всему годовому слою равномерно.</p>					
<p>Белый, с розовым или красноватым оттенком</p>	<p>Твердая и довольно тяжелая</p>	<p>Годичные слои неотчетливы, но хорошо обнаруживаются, если смочить водой</p>	<p>Сердцевинные лучи невооруженным глазом не видны</p>	<p>Годичные слои различаются плохо. Сердцевинные лучи обнаруживаются в строго радиальном разрезе в виде темных пятен и реже в виде полос темно-бурого цвета</p>	<p>Береза</p>
<p>От светлого до светлокрасного</p>	<p>Легкая и мягкая</p>		<p>Границы годичных слоев слабо извилисты. Сердцевинные лучи многочисленные и тонкие, различаются слабо. Имеются ложные широкие сердцевинные лучи в виде матовых толстых линий.</p>	<p>Границы годичных слоев заметны. Сердцевинные лучи имеют вид точек или линий бурого цвета.</p>	<p>Ольха</p>



Таблица 2 - Признаки хвойных пород дерева
Общий признак: сосудов нет, годичные слои ясно выражены

Цвет заболонной части древесины или цвет древесины	Макроскопическое строение		Порода
	Торцовый разрез	Радиальный разрез	
1	2	3	4
Желтовато-белый	Годичные слои хорошо различаются. Ранняя древесина годичных слоев светлого оттенка. Сердцевинные лучи не заметны, смоляные ходы в поздней части древесины годичного слоя хорошо видны в виде светлых точек.	Годичные слои резко различаются друг от друга. Сердцевинные лучи не заметны. Смоляные ходы хорошо видны в поздней части древесины в виде беловато-матовых черточек.	Сосна



Светлый	Годичные слои резко выделяются. Ранняя древесина более светлого оттенка и резко переходит в более позднюю, которая имеет темную окраску. Смоляные ходы обнаруживаются с трудом. Сердцевинные лучи не видны.	Годичные слои резко выделены. Мелкие многочисленные смоляные ходы хорошо видны.	Лиственница
---------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------	-------------



1	2	3	4
Белый, со слабым желтовато-бурым оттенком	Годичные слои хорошо различаются. Ранняя древесина развита и имеет рыхлое строение и более светлый оттенок. Поздняя имеет вид узкой полосы плотного строения. Смоляные ходы видны в виде мелких точек. Сердцевинные лучи не заметны.	Годичные слои выделяются не особенно резко. Смоляные ходы при отражении света заметны в виде коротких матово-белых черточек.	Ель
Белый, со слабым желтовато-бурым оттенком	Годичные слои выделяются слабо. Смоляных ходов нет.	Годичные слои хорошо заметны. Смоляных ходов нет.	Пихта
Желтовато-бурый, мало отличается от ядра	Годичные слои хорошо различаются. Сердцевинные лучи не видны. Смоляные ходы в летней части выделяются беловатыми точками.	Годичные слои резко выделены. Крупные смоляные ходы хорошо видны.	Кедр

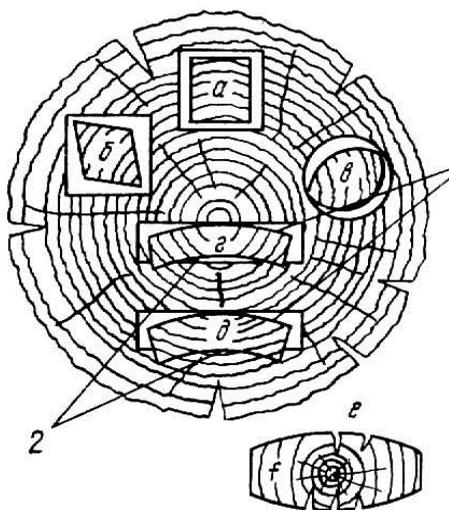


3. ПОРОКИ ДРЕВЕСИНЫ

К важнейшим порокам древесины относятся:

1. Сучки, которые вызывают резкое изменение направления волокон, благодаря чему прочность древесины при растяжении, изгибе резко падает. Сучки бывают следующих видов: сшивной твердый - годовичные слои его составляют одно целое с окружающей древесиной; здоровый - без признаков гнили и изменения окраски; роговой - древесина сучка здоровая, но обильно пропитана смолой, по цвету темнее окружающей древесины; несросшиеся - образуют в древесине отверстие или гнилой участок; выпадающий - древесина сучка твердая, но с окружающей основой не связана; рыхлый.

2. Искажения и трещины, основные виды которых приведены на рисунке 2.



Трещины мало влияют на прочность при растяжении вдоль волокон. Они снижают на 5-10% прочность на сжатие и особенно резко снижают прочность при скалывании вдоль волокон.

3. Косослой, который характеризуется спиральным рас-



Рисунок 2.- Искажения древесины и трещины, возникающие в результате неоднородного скручивания в разных направлениях во время обработки дерева:

а, б, в - деформация в продольном сечении; г - коробление доски, вырезанной из ядра дерева; д - деформация дерева из заболонной части; е - образование трещин; 1 - «правая» сторона доски (от стороны сердцевин); 2 - «левая» сторона доски (от внешней стороны пня)

положением волокон в отношении оси ствола. Так как в пиломатериале косо-слои вызывает пере-резывание волокон, то снижается проч-ность изделия. Сви-леватость - волнооб-разное или перепле-тенное расположение волокон в древесине.

4. Крень - не-нормальное утолще-ние летней древеси-ны годовичного слоя со значительным повы-шением ее твердости на более узкой сто-роне и смещением сердцевин.

5. Паразитные пороки. К ним отно-сятся грибные (мик-робиологические). Под грибковым пораже-нием

древесина разрушается, превращаясь в труху. Возможны повреждения насекомыми (червоточина). Наличие этого порока понижает сортность древесины.

4. ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Шпон - широкая, тонкая (0,55-1,5 мм) ровная стружка древесины, получаемая лущением или строганием. Шпон является полуфабрикатом для изготовления фанеры, древесных слоистых пластиков (ДСП). Шпон из кедра и ольхи используется для



сепараторов свинцовых аккумуляторов.

Фанера - листовый материал, получаемый склейкой листов шпона. Листы шпона в смежных слоях имеют взаимно перпендикулярное направление волокон. Толщина фанеры 1-12 мм. Водостойкость фанеры зависит от применяемого для соединения шпона клея: фанера ФСФ на фенолформальдегидном клее обладает повышенной водостойкостью; фанера ФК на карбамидном и ФБА на альбуминоказеиновом клеях обладают средней водостойкостью; фанера ФБ на белковых клеях - ограниченной водостойкостью. Прессованная древесина получается прессованием в нагретых пресс-формах деревянных заготовок. Прочность прессовок возрастает при растяжении до двух раз, при изгибе и сжатии до трех раз. Ударная вязкость 60-80 кгс/см/см². Такая древесина используется как заменитель металла, из нее изготавливаются сегменты зубчатых передач, подшипники, втулки, челноки и т.д.

Древесно-стружечные плиты изготавливают горячим прессованием стружек со связующими смолами (фенолформальдегидными и др.). Плиты бывают однослойные, трехслойные (в середине обычная стружка, на поверхности - специальная, тонкая), облицованные шпоном, фанерой, картоном, пластиком. Древесно-стружечные, а также опилочные плиты - пример рационального использования отходов древесины, что дает народному хозяйству большой экономический эффект. Такие плиты используются как тепло- и звукоизоляционные в строительных конструкциях, при производстве мебели и т.д.

5. СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

К физическим свойствам древесины относятся: цвет, текстура, влажность разбухания, линейная и объемная усушки, объемный вес, гигроскопичность, тепло-, звуко- и электропроводность.

Цвет древесины, определяемый дубильными веществами, смолами и продуктами их окисления, является важным свойством ее при определении древесных пород.

Текстура - это естественный рисунок, получаемый на продольном разрезе древесины вследствие перерезания ее волокон,



Общее материаловедение и технологии материалов

годовых слоев и сердцевинных лучей. Это свойство используется при применении древесины в декоративных целях.

Влажность (W) древесины зависит от породы дерева и почвенно-климатических условий его произрастания. Определяется влажность по формуле:

$$W = \frac{G - G_0}{G_0} 100\%, \quad (1)$$

где G - вес влажного образца, г; G_0 - вес образца в сухом состоянии (высушенного при 100°C).

Мокрая древесина, долго находящаяся в воде, имеет W около 100%, свежесрубленная 50-100%, воздушно-сухая 10-20г%, в комнатных условиях влажность древесины 7-10%. Для возможности сравнения все свойства древесины устанавливаются при стандартной влажности $W=15\%$.

Определение влажности производится на образцах древесины, взвешенных до и после высушивания при температуре 100°C в течение шести часов.

Линейная усушка (γ) характеризует уменьшение размеров образца древесины вследствие удаления из нее влаги выражается в процентах по отношению к размеру образца после высушивания.

Линейная усушка определяется по формулам:

$$\gamma_t = \frac{a - a_1}{a_1} 100\%; \quad \gamma_p = \frac{b - b_1}{b_1} 100\%, \quad (2)$$

где γ_t и γ_p – линейная усушка в тангенциальном и радиальном направлениях, %; a , b , a_1 , b_1 – размеры образца по тангенциальному и радиальному направлениям до и после высушивания, мм.

Коэффициент линейной усушки (K) представляет собой среднюю усушку при изменении влажности на 1% и определяется по формулам:



$$K_T = \frac{\gamma_T}{W}; K_P = \frac{\gamma_P}{W}, \quad (3)$$

где W – влажность образца, % (не более 30%).

В силу анизотропности древесины усушка зависит от направления. Для различных пород дерева усушка в радиальном направлении $K_P = 0,09-0,31\%$, усушка в тангенциальном направлении $K_T = 0,17-0,49\%$.

Учет возможной усушки при хранении и эксплуатации древесины имеет важное значение, так как различная усушка в разных направлениях приводит к возникновению в древесине внутренних напряжений, следствием чего является коробление и растрескивание древесины.

Для определения величины усушки образцы древесины измеряют по направлению линий, проведенных на торцевых поверхностях, с точностью до 0,01 мм. После высушивания образцов вновь проводят измерения их по тем же направлениям и в тех же местах, что и до высушивания.

Набухание древесины связано с поглощением воды. Иногда это явление положительно. Например, при эксплуатации в условиях повышенной влажности происходит уплотнение стыков и конструкция становится более плотной и прочной. Но часто это явление имеет отрицательные последствия. Например, набухание деревянных моделей ведет к искажению формы и изменению размеров отливок. Неравномерное набухание по сечению также может быть следствием коробления и растрескивания древесины.

Важной характеристикой древесины является объемный вес (γ) – это вес единицы объема древесины в ее естественном виде. Он служит основным показателем качества и свойств древесины. Объемный вес образца при определенной влажности вычисляется по формуле:

$$\gamma = \frac{G}{V}, \quad (4)$$

где G – вес образца, г; V – объем образца, см³.



Общее материаловедение и технологии материалов

Для сравнения объемный вес древесины разной влажности приводят к стандартной (15%) влажности:

$$\gamma_{15} = \gamma [1 + 0,01 (1 - k_0) (15 - W)], \quad (5)$$

где W - влажность образца; k_0 - коэффициент объемной усушки (%), определяемый по формуле:

$$k_0 = \frac{V_1 - V_2}{V_2 \cdot W} 100\%, \quad (6)$$

где V_1 и V_2 - объем образца до и после высушивания, см^3 .

Средние значения показателей свойств древесины приведены в таблице 3.

Прочностью называется способность древесины сопротивляться действию внешних сил, стремящихся сжать, смять, растянуть, согнуть, сколоть или срезать ее. Прочность древесины зависит от времени нагружения: так $\sigma_{изг}$ может изменяться от 100 МПа при кратковременном нагружении до 60 МПа при нагружении в течение 60 суток.

Прочность древесины при сжатии по результатам нагружения образца со скоростью 400 кгс/мин на прессе при фактической ее влажности определяется по формуле:

$$D_W = \frac{P_{\max}}{a \cdot b}, \quad (7)$$

где P_{\max} – разрушающая нагрузка, Н; a и b – размеры поперечного сечения образца, см.

Пересчет прочности древесины для стандартной ее влажности (15%) производят по формуле:

$$D_{15} = D_W [1 + \alpha (W - 15)], \quad (8)$$

где W – влажность образца; α - поправочный коэффициент для сосны, бука, ясеня – 0,05; для ели, пихты, дуба – 0,04.

Твердость древесины определяет ее обрабатываемость и износостойкость. Торцовая твердость значительно выше радиальной. Для сравнения производят измерения твердости образцов древесины в радиальной и торцовой плоскостях.



Таблица 3 - Основные свойства наиболее распространенных пород древесины при $W'=15$.

Порода дерева	Объемный вес, г/см ³	Коэффициент усушки, %			Предел прочности, МПа при			Твердость, МПа		
		радиальный	тангенциальный	объемный	сжатии вдоль волокна	растяжения вдоль волокна	изгибе	радиальная	тангенциальная	топорная
Хвойные породы										
Лиственница	0,68	0,21	0,40	0,62	55	123	98	28	28	40
Сосна	0,51	0,18	0,31	0,51	41	100	75	21	22	26
Ель	0,46	0,18	0,32	0,52	39	106	71	17	16	24
Лиственные породы										
Дуб	0,76	0,18	0,28	0,48	51	-	89	53	56	65
Береза	0,64	0,28	0,34	0,64	47	161	96	34	30	42
Липа	0,5	0,23	0,33	0,58	39	115	77	15	16	23

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 6.1. Изучить макростроение образцов древесины.
- 6.2. Зарисовать главный разрез ствола с указанием элементов строения.
- 6.3. Определить породу дерева по его макропризнакам, пользуясь таблицами 1-3.
- 6.4. Изучить наиболее распространенные пороки древесины.
- 6.5. Определить плотность, линейную и объемную усушку образцов древесины. Для этого необходимо с помощью штан-



Общее материаловедение и технологии материалов

генциркуля измерить линейные размеры образцов и взвесить их с точностью до 1 мг до и после высушивания. Образцы высушиваются в печи в течение 6 часов при 100°C. По формулам определить численные значения нужных свойств древесины.

6.6. Вычислить объемный вес древесины.

6.7. Определить твердость образцов древесины разных пород в радиальной и торцовой плоскостях. Сравнить полученные результаты с табличными (см. таблицу 3).

7. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

7.1. Указать цель работы.

7.2. Зарисовать макроструктуры древесины с указанием элементов ее строения.

7.3. Записать результаты определения основных свойств древесины.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

8.1. Какие достоинства и недостатки имеет древесина как конструкционный материал?

8.2. Каково строение поперечного разреза ствола древесины? Чем оно отличается для лиственных и хвойных пород дерева?

8.3. Какие пороки имеет древесина?

8.4. Какие инструкционные материалы можно получить переработкой древесины?

8.5. Как определяются основные свойства древесины? От каких внутренних и внешних факторов они зависят?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИНЫ

Цель работы: ознакомиться со строением резины и определить основные ее свойства,

1. СТРОЕНИЕ, СОСТАВ И СВОЙСТВА РЕЗИНЫ

Резины изготавливают из смесей различных материалов, основным из которых является каучук - линейный полимер с очень большим молекулярным весом $(0,3-3) \times 10^6$.

Каучуки бывают натуральными и синтетическими: первые получают из млечного сока деревьев (гевея), а также из каучуковых одуванчиков; вторые - из продуктов переработки нефти и спирта, называемых дивинилом, или из смеси дивинила и стирола. Наибольшее применение в производстве резин имеют каучук бутадиеновый (СКБ), бутилкаучук, бутадиен-нитрильный (СКН), бутадиен-стирольный (СКС), хлоропреновый, тиоколовый каучук, кремнийорганический и т.д.

При изготовлении резиновых изделий к каучуку прибавляют определенные смеси (ингредиенты). По назначению ингредиенты резиновых смесей разделяются на вулканизирующие вещества; вещества, ускоряющие вулканизацию (ускорители); усилители и наполнители - вещества, повышающие прочность резины; мягчители - вещества, облегчающие обработку резиновой смеси и повышающие мягкость готовых вулканизированных изделий; противостарители - вещества, предохраняющие резины от старения; красители.

Вулканизация - сложный физико-химический процесс, в результате которого происходит резкое изменение свойств каучука, теряется пластичность, появляется эластичность, увеличивается прочность и сопротивляемость растворителям (бензин и др.). В качестве основного вулканизирующего вещества применяют серу, а также селен и полухлористую серу.

Усилителями являются порошкообразные материалы -



Общее материаловедение и технологии материалов

различные типы саж, каолин, цинковые белила, жженая магнезия и др.

Мягчители обеспечивают более равномерное распределение усилителей и наполнителей в смеси и тем самым облегчают обработку резиновых изделий. В качестве мягчителя используются вещества нефтяного происхождения - нефтебитумы, вазелин, петролатум, парафин, мазут и т.п.; продукты растительного происхождения - сосновая смола, канифоль, эфиры и др.

В качестве противостарителей используются сложные органические вещества, а также кислородостойкие вещества, образующие на поверхности резины тонкую защитную пленку, предупреждающую проникновение кислорода в резину. К ним относятся парафин, воск.

Использование резины. В машиностроении применяемые резиновые детали делятся на 9 классов: уплотнительные, вибро- и звукоизолирующие, противоударные, силовые, опоры скольжения, гибкие компенсационные прокладки, противовоздушные, фрикционные, несилловые и защитные.

Резины общего назначения изготавливают на основе неполярных каучуков - НК (натуральный каучук), СКБ, СКС, СКИ (синтетические каучуки). Резина на основе НК отличается высокой эластичностью, прочностью, водо- и газонепроницаемостью. Из резины общего назначения изготавливают ремни, рукава, транспортные ленты, изоляцию кабелей и др.

Резины специального назначения (маслостойкие, бензостойкие и др.) изготавливаются на основе полярного каучука (хлоропренового)- найрита. Данные о свойствах резин приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные свойства резины

Группа по назначению	Тип каучука	σ_B , МПа	Удлинение, %	Температура, °С	
				рабочая	хрупкости



Общего назначения	НК СКБ	24-	до 700	80-130	-40
		34	до 600	80-130	-42
		13-			
		16			
Специальные	найрит	20- 26	до 750	100-130	-34
Бензо- и маслостойкие	СКН	22- 23	до 700	до 170	-48
Химически стойкие	тиокол бутил- каучук	3,2-	до 430	60	-40
		4,2	до 800	-	-70
		16-			
		24			
Теплостойкие	СКТ	3,5-8	360	250-316	-74

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ РЕЗИНЫ

Качество резиновых изделий проверяют различными методами контроля. При выборе метода испытаний готовых изделий стремятся приблизить эти условия к условиям эксплуатации.

Обычно при испытании резины определяются: полезная упругость, предел прочности при растяжении и относительное удлинение резины при разрыве, твердость, коэффициент старения, морозостойкость и стойкость к маслам, бензину, керосину, эластичность.

Полезная упругость резины при растяжении находится процентным отношением работы, возвращенной деформированным образцом, к работе, затраченной на эту деформацию.

Принцип испытаний состоит в удлинении и сокращении образца до момента его полного разрушения. Одновременно при этом производится автоматическая запись на бумаге кривой удлинения в период растяжения и кривой сокращения в период снятия нагрузки.

Полезная упругость резины при растяжении определяется на разрывной машине, способной обеспечить скорость движения верхнего или нижнего зажимов 500 мм в минуту. На машине смонтирован диаграммный аппарат, который вычерчивает диа-



грамму "нагрузка-деформация" для испытуемого образца.

Эластичностью называется свойство тел деформироваться под действием силы и восстанавливаться после прекращения ее действия. Эластичность резины определяют ударом бойка маятника, падающего с установленной высоты на испытуемый образец. Испытания проводят на маятниковом копре, снабженном металлической площадкой на опорах, бойком полушаровой формы с радиусом закругления 7,5 мм и весом 10 кг, дуговой шкалой, градуированной в процентном отношении высоты отскока маятника к высоте его падения. За показатель эластичности принимают показание прибора после четвертого удара маятнике по образцу.

Предел прочности резин при растяжении и удлинении определяется также на разрывной машине. Образцам придают форму двухсторонней лопатки и расстояние между зажимами берут равным 50 мм. Модуль растяжения есть частное от деления максимальной нагрузки на площадь первоначального сечения образца. Его определяют при удлинении образцов на 100, 200, 300%. Относительное удлинение образца при растяжении определяют в % к исходной длине образца.

3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определить полезную упругость образца резины. Для этого необходимо:

а) закрепить в зажимах разрывной машины образец таким образом, чтобы края зажимов точно совпали с метками рабочего участка, равного $70 \pm 0,5$ мм;

б) установить самопишущее устройство машины;

в) подвергнуть образец растяжению до 300% удлинения при скорости движения верхнего зажима, равной 500 мм в минуту;

г) при достижении заданной величины удлинения сообщить обратный ход верхнему зажиму и при полном сокращении образца остановить машину;

д) с помощью планиметра измерить площади записанных диаграмм с точностью до $0,1 \text{ см}^2$ и определить численное значение полезной упругости. Опыт повторить не менее трех раз.



Общее материаловедение и технологии материалов

2. Определить эластичность резины. Для этого необходимо:

- а) установить квадратный образец резины к боковой поверхности металлической пластины;
- б) установить стрелку шкалы на нулевое деление;
- в) произвести удар бойком маятника по испытуемому образцу;
- г) по шкале прибора определить показатель эластичности после четвертого удара.

4. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

- 4.1. Указать цель работы.
- 4.2. Изучить и описать состав резины.
- 4.3. Изучить и описать методы определения основных свойств резины.
- 4.4. Экспериментально полученные значения полезной упругости и эластичности занести в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты экспериментов

Резиновый материал	Полезная упругость				Показатель эластичности
	первый результат	второй результат	третий результат	средний результат	

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Каков состав резины? Назовите назначение ингредиентов, добавляемых к каучуку при изготовлении резины.
- 5.2. Какие детали изготавливаются из резины?
- 5.3. Как определяется полезная упругость резины?
- 5.4. Что характеризует эластичность резины? Как она определяется?



Общее материаловедение и технологии материалов

5.5. Каким образом можно определить модуль растяжения и относительное удлинение резины?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

Цель работы - ознакомление с особенностями и практическими навыками процесса получения металлических отливок и влиянием конфигурации литейной формы на геометрические параметры слитков.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс получения заготовок деталей машин и других изделий методом литья называют литейным производством. Отливают заготовки массой от нескольких граммов до сотен тонн практически любой формы, которую иногда невозможно получить другими методами.

1 ЛИТЕЙНЫЕ ФОРМЫ

Формы для заливки металла бывают разовые и постоянные. Разовые формы годны только для одной заливки. Их получают в опоках при набивке и уплотнении формовочных смесей, при заливке формовочных смесей, по выплавляемым моделям (оболочковые формы).

Постоянные формы из металла выдерживают обычно несколько тысяч заливок.

Для проведения процесса литья необходимо иметь в наличии готовую форму для заливки жидким металлом, либо модельный комплект - совокупность оснастки и приспособлений, предназначенных для получения определенной отливки.

Постоянные формы для заливки изготавливаются из различных материалов. Наибольшее распространение получили металлические формы (кокили), что связано с долговечностью их использования. Однако зачастую в промышленности используются формы, изготовленные из быстротвердеющих неметаллических смесей, способных иметь конфигурацию, которую практически невозможно получить использованием металлических материалов. В последние годы большое распространение получили быстротвердеющие формовочные смеси с жидким стеклом, которые



твердеют при продувке их углекислым газом или при выдержке на воздухе. Примером может служить смесь, состоящая на 70% из гипса, 10% асбеста и 20% маршалита (пылевидный кварц, дисперсность частиц $\sim 0,08$ мм), разведенные жидким стеклом.

Постоянные литейные формы разделяют на простые и сложные. Простые (изложницы) используются для получения полуфабрикатов с последующей их обработкой резаньем или давлением, а также для получения декоративных изделий. Сложные формы применяют для получения изделий определенной конфигурации. Они изготавливаются как из металлических материалов, так и из специальных формовочных смесей и имеют одну отличительную конструктивную особенность - литниковую систему.

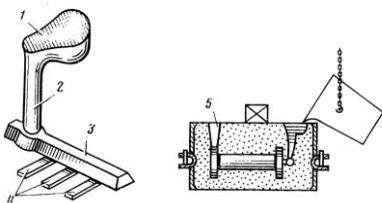


Рисунок 1.- Литниковая система в песчано-глинистой форме

Литниковая система служит для ввода жидкого металла в форму и задерживает шлак, не допуская его в отливку. Пример литниковой системы представлен на рисунке 1.

Она состоит из чаши 1, стояка 2, шлакоуловителя 3, питателя (или питателей) 4 и выпора 5. Выпор 5

служит для удаления из формы газов, воздуха и загрязненной песком первой порции металла, для питания отливки жидким металлом во время затвердевания. Таким образом, выпор выполняет роль прибыли, которая служит для предупреждения усадки в теле отливки. Чем больше усадка металла, тем массивнее должна быть прибыль.

2. СПЛАВЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОТЛИВОК

В отечественном машиностроении 74% всех отливок изготавливают из серого чугуна, 21% из стали, 3% из ковкого чугуна и



2% из цветных сплавов (алюминиевых, медных и др.).

К литейным материалам относят металлы и сплавы, применяемые для получения литых деталей и обладающие литейными свойствами, главными из которых являются жидкотекучесть, усадка, ликвация, склонность к образованию трещин и газовой пористости, легкоплавкость.

Жидкотекучесть - способность металла (сплава) в расплавленном состоянии воспроизводить рельеф полости формы. С повышением содержания углерода, кремния, марганца, никеля, фосфора в железоуглеродистых сплавах жидкотекучесть увеличивается, а с повышением содержания хрома и серы - понижается.

Усадка - уменьшение линейных и объемных размеров сплавов при затвердевании и охлаждении, т.е. относительная разница в размерах (модели) формы и изготовленной по ней отливки:

$$\varepsilon_{л} = \frac{l_{м} - l_{о}}{l_{м}} \cdot 100\%,$$

где $\varepsilon_{л}$ - линейная усадка,

$l_{м}$ - длина модели;

$l_{о}$ - длина отливки.

Примерная литейная свободная усадка для разных сплавов (%):

серый чугун - 1..1,3;

сталь углеродистая - (有)...2,5;

бронзы - 1,4...2,5,

латуни - 1,3...1,8,

алюминиевые сплавы - 0,9.. .1,2.

3. СТРОЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ДЕФЕКТЫ СЛИТКОВ

В результате усадки в отливке могут образоваться коробления и трещины, а также раковины. Усадка зависит от вида и химического состава сплава. Усадочные раковины образуются в том месте, где металл кристаллизуется в последнюю очередь. Размер, форма и расположение усадочных раковин зависит от



Общее материаловедение и технологии материалов

формы слитка, степени раскисления металла и других факторов. В слитке, уширенном кверху, усадочная раковина получается широкой и неглубокой, а в уширенном к низу - глубокой и узкой.

Усадочная рыхлость и поры располагаются обычно под усадочной раковиной, а в тех местах, где сходятся оси дендритов, растущих навстречу друг другу или под углом, образуются межкристаллические пустоты.

При исследовании макрошлифа слитка можно выявить зоны кристаллизации, ликвацию, усадочные раковины, рыхлость, газовые пузыри.

Неравномерное растворение поверхности металла приводит к появлению макрорельефа, который отражает развитие процесса кристаллизации слитка.

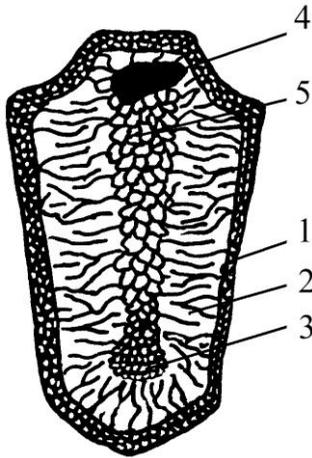


Рисунок 2.- Схема макроструктуры стального слитка: 1,2,3 – зоны кристаллизации; 4 – усадочная раковина; 5 – рыхлость, поры

Наиболее часто можно наблюдать три основные зоны кристаллизации (рисунок 2): 1 - наружная зона мелких кристаллитов, образующаяся в первые моменты кристаллизации при высокой скорости охлаждения за счет соприкосновения жидкого металла с изложницей; 2 - зона длинных столбчатых кристаллитов (зона транскристаллизации), формирующаяся в результате интенсивного направленного отвода тепла - перпендикулярно стенкам изложницы; 3 - зона равноосных различно ориентированных кристаллитов, образующаяся в центральной части слитка при наименьшей степени переохлаждения и отсутствии интенсивного направленного отвода тепла.

Форма кристаллитов зависит от условий их роста: интен-



сивности и направления отвода тепла, температуры жидкого металла, а также от наличия примесей, способных быть центрами кристаллизации. Рост кристаллов происходит по дендритной (древовидной) схеме. С наибольшей скоростью растет ось первого порядка; перпендикулярно к ней, но с меньшей скоростью, - ось второго порядка и т.д. Наибольшая скорость роста осей дендритов происходит по кристаллографическим плоскостям и направлениям решетки с наибольшей плотностью упаковки атомов. Дендриты растут до соприкосновения друг с другом, после чего кристаллизуются межосные пространства и дендриты превращаются в полновесные кристаллиты, имеющие неправильную внешнюю огранку (их называют кристаллитами, или зернами). В межосных объемах и на границах кристаллов скапливаются примеси, а также образуются поры из-за усадки. Дендритную форму кристаллов видно на поверхности усадочной раковины и в местах недостаточного подвода жидкого металла, когда образуются только оси дендритов.

Газовые пузыри возникают при кристаллизации в результате выделения газов из расплавленного металла. Их количество зависит от соотношения между скоростями кристаллизации и выделения газа. Газовые пузыри образуются за счет выделения растворенных в металле газов и по форме представляют небольшие сфероидальные или эллипсоидальные полости. Если пузыри расположены внутри слитка и стенки их не окислены, то при ковке или прокатке они завариваются. Если газовые пузыри расположены вблизи поверхности или выходят наружу, то стенки их оказываются окисленными и они не завариваются. Такие пузыри представляют неисправимый порок слитка, так как приводят к образованию трещин и пленок, располагающихся на поверхности и внутри поковок или прокатанного металла.

4. СПОСОБЫ ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Для получения жидкого металла в литейных цехах и участках используют различные плавильные агрегаты. Для плавки чугуна применяют вагранки, электрические индукционные пе-



чи промышленной частоты; для плавки стали - электрические дуговые печи, небольшие конверторы с боковым дутьем и мартеновские печи; для плавки цветных металлов и сплавов - различные электрические и пламенные печи.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Тигель из огнеупорного материала наполнить скрапом цинка и поместить в электропечь, нагретую до температуры выше 419°C.

5.2. Визуально контролируя процесс, добиться полного расплавления металла.

5.3. Соблюдая осторожность, с использованием специальных щипцов произвести заливку расплава в металлическую форму.

Внимание. Перед проведением процесса литья убедиться в том, что форма сухая. Наличие влаги в форме может привести к выплеску металла.

5.4. Наблюдая за процессами кристаллизации и формирования характерных зон слитка, дожидаться охлаждения слитка до комнатной температуры.

5.5. Извлечь слиток из формы, приготовить продольный макрошлиф и изучить основные зоны кристаллизации. В протоколе зарисовать схему макрошлифа.

5.6. Приготовить к заливке неметаллическую форму путем обработки ее внутренней поверхности 3%-ным спиртовым раствором поливинилбутерала (огнеупорная формовочная краска, содержащая кварц).

5.7. Аналогично предыдущему процессу произвести заливку цинком неметаллической формы, дожидаться окончания процесса кристаллизации и извлечь слиток из формы.

5.8. Визуальным наблюдением изучить геометрию усадочных раковин обоих слитков и оценить влияние конфигурации формы на характер усадки. Определить значение усадки по формуле (1).



Общее материаловедение и технологии материалов

5.9. Визуальным наблюдением оценить шероховатость поверхностей слитков и определить влияние материала формы на состояние поверхности.

5.10. Изучить конструкцию сложной металлической формы. Приготовить ее к заливке, собрав и зафиксировав составные части.

5.11. Наполнить огнеупорный тигель скрапом олова и поместить в электропечь, нагретую до температуры выше 232°C .

5.12. Аналогично предыдущим процессам произвести заливку сложной формы расплавленным оловом, дождаться окончания процесса кристаллизации и извлечь слиток из формы.

5.13. Рассмотреть особенности полученного слитка – наличие облоя, остатков литейного материала в местах литника и выпора. Занести в протокол схему слитка.

6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Цель работы.

6.2. Краткое описание видов литейных форм и конфигурации литниковой системы.

6.3. Технология заливки металла в различные формы.

6.4. Описание процессов, происходящих при кристаллизации слитка. Схема макрошлифа слитка.

6.5. Оценка величины и формы усадки в зависимости от конфигурации литейной формы.

6.6. Описание состояния и степени шероховатости поверхности слитков, полученных в литейных формах из разных материалов.

6.7. Описание особенностей процесса литья в сложную форму. Схема конфигурации слитка.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. Что называется литейным производством?

7.2. Чем отличаются разовые литейные формы от постоянных?

7.3. Где используются слитки, полученные в простых литейных формах?



Общее материаловедение и технологии материалов

7.4. Что называется литниковой системой?

7.5. Какими основными свойствами должны обладать литейные материалы?

7.6. Что называется усадкой слитка? Какой формулой ее можно оценить?

7.8. Какими способами производят плавление металлов?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология конструкционных материалов. Учебник для машиностроительных специальностей вузов. / Под общ. редакцией А.М. Дальского - М. Машиностроение. 1992
2. Материаловедение и технология металлов/ Учебник для ВУЗов под ред Г.П.Фетисова.- М.:Высшая школа, 2001. – 638 с.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЙ ОТЖИГ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ СТАЛИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: исследование изменения свойств холоднодеформированной стали при рекристаллизационном отжиге и влияния степени деформации на температуру начала рекристаллизации.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Рекристаллизационный отжиг относится к отжигу I рода и особенность его заключается в том, что структурные изменения происходят без фазовых превращений, за счет энергии, накопленной в металле при пластической деформации.

1.1. Пластическая деформация и явление наклепа.

Пластическая деформация происходит под действием касательных напряжений и сохраняется после снятия нагрузки. В кристаллических телах пластическая деформация может осуществляться скольжением и двойникованием.

Скольжение заключается в смещении отдельных частей кристалла относительно друг друга по определенным кристаллографическим плоскостям и происходит, когда касательные напряжения в плоскости и в направлении скольжения достигнут критической величины (τ_k).

Пластическое скольжение (сдвиг) имеет дислокационный механизм и осуществляется путем движения дислокаций, которые могут двигаться по плоскости скольжения в кристаллической решетке под действием сравнительно небольших напряжений. В процессе деформации дислокации интенсивно размножаются, и их плотность может возрасти во много раз: от 10^6 - 10^8 см⁻² перед деформацией до 10^{10} - 10^{12} см⁻² после деформации.

Двойникование заключается в смещении части кристалла в положение, симметричное по отношению к оставшейся части по плоскости, называемой плоскостью двойникования.

Само двойникование не может обеспечить большую степень остаточной деформаций металла, поэтому металлы, способ-



Общее материаловедение и технологии материалов

ные деформироваться только двойникованием (висмут, сурьма), имеют малую пластичность и относятся к хрупким.

Двойникование может протекать одновременно с деформацией скольжением и ей способствовать за счет поворота части кристалла и расположения плоскостей скольжения в направлении наибольших касательных напряжений.

Значительная пластическая деформация металлов приводит к изменению формы зерен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла, образуя при степенях деформации более 40% волокнистую структуру. Одновременно с изменением формы зерна дробятся на блоки.

Пластическая деформация приводит металл в неравновесное состояние, повышая уровень свободной энергии за счет размножения дислокаций и других дефектов кристаллического строения, а также возникновения больших внутренних напряжений. Резкое увеличение плотности дислокаций вызывает повышение твердости и прочностных характеристик (σ_B , $\sigma_{0,2}$), снижение пластичности и вязкости (δ , a_H).

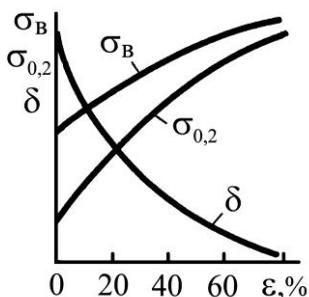


Рисунок 1.- Закономерности изменения механических свойств стали от степени деформации металла

С увеличением степени деформации возрастают удельное электросопротивление, коэрцитивная сила, снижаются магнитная проницаемость и плотность металла, деформированные металлы более активно вступают в химические реакции, легче корродируют и склонны к коррозионному растрескиванию.

Такое комплексное изменение микроструктуры, механических, физических и химических свойств металла при пластической деформации называют наклепом или нагартовкой.

Металлы интенсивно наклепывается в начальной стадии деформирования, а после 40%-ной деформации механические свойства изменяются значительно меньше (рисунок 1).

1.2. Превращения при нагреве наклепанного металла.

Поскольку наклепанное состояние является структурно неустойчивым, то самопроизвольно должны протекать процессы, возвращающие металл в более стабильное состояние. Большинство металлов и сплавов, кроме легкоплавких, сохраняют наклепанное состояние благодаря недостаточной подвижности атомов при нормальной (комнатной) температуре; для частичного или полного устранения наклепа их приходится нагревать - проводить отжиг после холодной обработки давлением.

Превращения, протекающие при нагреве наклепанного металла, подразделяются на процессы возврата и рекристаллизации.



Общее материаловедение и технологии материалов

Нагрев ниже температуры $\sim 0,3T_{пл}$ обеспечивает протекание возврата, при котором происходит снятие микронапряжений, искажающих кристаллическую решетку, и частичное уменьшение плотности дефектов кристаллического строения, однако не вызывает изменения структуры наклепанного металла, видимой под оптическим микроскопом. Возврат незначительно снимает твердость и прочностные характеристики металла.

Различают три стадии рекристаллизации: первичную, собирательную и вторичную.

Первичной рекристаллизацией, или рекристаллизацией обработки, называется образование новых равноосных зерен взамен ориентированной волокнистой структуры деформированного металла. Первичная рекристаллизация происходит при более высоких температурах, чем возврат, и начинается с заметной скоростью после нагрева выше определенной температуры. Наименьшая температура, при которой протекает первичная рекристаллизация и наблюдается разупрочнение сплава, называется температурным порогом рекристаллизации ($T_{пр}$).

Температурный порог рекристаллизации не является постоянной физической величиной и зависит от степени предварительной деформации, продолжительности отжига и величины зерна до деформации. Чем больше степень деформации и продолжительность отжига, тем ниже температурный порог рекристаллизации.

А.А.Бочвар показал, что между температурным порогом рекристаллизации и температурой плавления металлов имеется зависимость: $T_{пр} = \alpha \cdot T_{пл}$, где α - коэффициент, зависящий от чистоты металла. Чем выше чистота металла, тем меньше α , и для очень чистых металлов составляет 0,2 и даже 0,1. Для металлов технической чистоты $\alpha = 0,3-0,4$, а для металлов со структурой концентрированных твердых растворов, используемых в качестве жаропрочных сплавов, может достигать 0,7-0,8.

Движущей силой первичной рекристаллизации является уменьшение объемной свободной энергии за счет снижения плотности дислокаций с $10^{10}-10^{12} \text{ см}^{-2}$ до $10^6-10^8 \text{ см}^{-2}$. В результате



уменьшения плотности дислокаций наклеп полностью снимается, предел прочности и, особенно, предел текучести резко снижаются, а пластичность возрастает до уровня недеформированного состояния.

Собирательная рекристаллизация начинается после завершения первичной рекристаллизации и исчезновения деформированных зерен. Она заключается в росте одних рекристаллизованных зерен за счет других. Причиной собирательной рекристаллизации является стремление к уменьшению зернограницной энергии при росте зерен. Укрупнение зерен при собирательной рекристаллизации снижает предел текучести сплава.

Вторичная рекристаллизация заключается в неравномерном росте отдельных зерен, которые вырастают до больших размеров, "поедая" мелкие соседние зерна. Она начинается после первичной рекристаллизации с определенной температуры ($T_{вт.р.}$), ниже которой возможна только очень медленная собирательная рекристаллизация.

Вторичная рекристаллизация создает в сплаве разнородность в виде отдельных крупных зерен и большого числа мелких, что снижает механические свойства и штампуемость сплава.

Таким образом, для снятия наклепа и придания металлу наибольшей пластичности перед холодной обработкой давлением, необходим рекристаллизационный отжиг, осуществляемый путем нагрева выше температурного порога рекристаллизации с целью достижения высокой скорости рекристаллизационных процессов. После нагрева производится выдержка и охлаждение.

Рекристаллизационный отжиг применяется также как окончательная термическая обработка для обеспечения заданных свойств деталей.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Практически рекомендуемые режимы рекристаллизационного отжига и для сравнения горячей обработки металлов давлением приведены в таблице 1.



Таблица 1 - Значения температур порога рекристаллизации, рекристаллизационного отжига и горячей обработки давлением металлов и сплавов

Сплав, металл	Температура, °С		
	порога рекристаллизации при $\alpha=0,4$	рекристаллизационного отжига	горячей обработки давлением
Железо	450	600 - 700	1300 - 800
Сталь	450	600 - 700	1300(1100) - 800
Медь	270	450 - 500	800 - 600
Латунь	250	400 - 500	750 - 600
Алюминий	50	250 - 350	460 - 350

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Уясните цель работы.
- 3.2. Изучите процессы, происходящие при пластической деформации и последующем нагреве холоднодеформированной стали.
- 3.3. Возьмите 4 образца малоуглеродистой стали после холодной деформации со степенью деформации 50%.
- 3.4. Измерьте твердость образцов в наклепанном состоянии методом Роквелла по шкале В.
- 3.5. Изучите влияние температуры отжига на твердость исследуемой стали. Для этого произведите отжиг образцов при температурах 400, 500, 600 и 700°С в течение 30 мин.
- 3.6. Измерьте твердость образцов после отжига методом Роквелла по шкале В. Полученные результаты занесите в таблицу 2.
- 3.7. Постройте график зависимости $HRB=f(t_{отж.})$ (рисунок 2).
- 3.8. Проанализируйте влияние температуры отжига на твердость холоднодеформированных образцов из малоуглеродистой стали, объясните характер изменения твердости.
- 3.9. Составьте отчет о работе. (Для достоверного определения экспериментальных данных получите массив измерений, не менее



5, и статистически обработайте полученный коллектив с помощью микрокалькулятора или компьютера)

Таблица 2 - Изменение твердости в зависимости от температуры отжига (степень деформации 50%)

№ п/п	Температура отжига, °С	Твердость*, HRB
1	400	...
2	500	...
3	600	...
4	700	...

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Цель работы.
- 4.2. Основные теоретические представления о процессах, происходящих при пластической деформации и последующем нагреве холоднодеформированной стали.
- 4.3. Методика выполнения работы.
- 4.4. Таблица с результатами эксперимента.
- 4.5. График $HRB=f(t_{отж.})$.
- 4.6. Выводы на основании полученных результатов.

* Твердость образцов в наклепанном состоянии HB 90

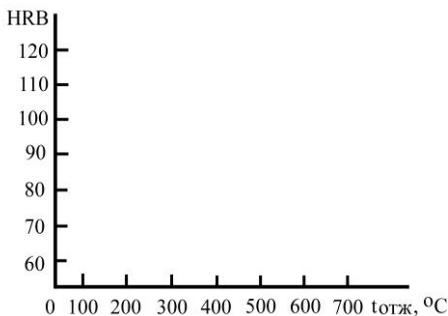


Рисунок 2.- Изменение твердости деформированной стали в зависимости от тем-пературы отжига для степени деформации 50%

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Происходят ли фазовые превращения при рекристаллизационном отжиге?

5.2. К какому виду дефектов кристаллического строения относятся дислокации?

5.3. Каков механизм пластического скольжения?

5.4. В чем заключается двойникование?

5.5. Как изменяется плотность дислокаций при пластической деформации?

5.6. Что называется наклепом?

5.7. Как изменяется твердость, предел прочности на растяжение, предел текучести и относительное удлинение при наклепе?

5.8. Какие структурные изменения происходят при первичной, собирательной и вторичной рекристаллизации?

5.9. Что называют температурным порогом рекристаллизации и чему он равен?

5.10. Почему температура рекристаллизационного отжига выше температурного порога рекристаллизации?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1986. 480 С., С.34-109.
2. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 544 С., С.54-88.
3. Лахтин Ю.М, Металловедение и термическая обработка металлов, М.: Металлургия, 360 С., С.53-59, 191-193.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ И ВИДА СТРУЖКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: установление видов стружки при обработке стали и чугуна и исследование влияния различных факторов на усадку стружки.

ВВЕДЕНИЕ

подавляющее число деталей машин приобретают форму и размеры только после механической обработки – обработки металлов резанием. Для осуществления процесса резания заготовке и инструменту необходимо сообщить определенный комплекс движений. Эти движения можно разделить на основные (для осуществления процесса резания) и вспомогательные (для подготовки к процессу резания и завершения операции). Основных движений два: главное движение – движение резания и движение подачи.

При точении заготовке сообщается вращательное главное движение, а инструменту движение подачи.

Скоростью резания V называется величина перемещения поверхности резания относительно режущей кромки в единицу времени в процессе осуществления главного движения.

При токарной обработке, когда обрабатываемая заготовка диаметром D вращается с некоторым числом оборотов n в минуту, скорость резания будет изменяться по длине режущей кромки. Однако в расчетах скорости резания принимается ее максимальное значение, определяемое по формуле:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин} \left[\frac{\pi D n}{1000 \cdot 60} \text{ м/с} \right],$$

где D – наибольший диаметр поверхности резания в мм. Величина подачи s при точении определяется перемеще-



Общее материаловедение и технологии материалов

нием инструмента за один оборот заготовки. В ряде случаев бывает необходимо знать величину минутной подачи s_m .

Между подачей s (в мм/об) и минутной подачей s_m (в мм/мин) ашинствует следующая зависимость: $s_m = s \cdot n$ мм/мин, где n – число оборотов заготовки в минуту.

1. ВИДЫ СТРУЖКИ

В зависимости от условий обработки стружка может быть различных видов: сливной, стружкой скалывания, надлома.

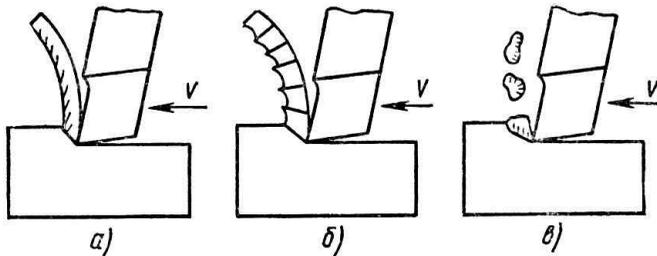


Рисунок 1.- Виды стружек: а – сливная, б – скалывания, в – надлома

Вязкие металлы (мягкая сталь, медь, алюминий и т.д.) образуют сливные стружки (рисунок 1, а), имеющие вид сплошной прямой ленты, плоской или винтовой спирали. Отдельные элементы этой стружки довольно прочно связаны друг с другом.

При обработке менее вязких металлов (сталей повышенной твердости, некоторых марок латуни и т.п.) образуется стружка скалывания (рисунок 1, б).

У нее отчетливо видны плоскости скалывания между отдельными элементами, а верхняя сторона имеет пилообразную форму. Элементы этой стружки имеют менее прочную связь, поэтому стружка после образования нескольких завитков обычно отламывается под действием собственного веса.

Стружка надлома (рисунок 1, в) получается при обработке хрупких металлов (чугун, бронза) и неметаллических материалов. Связь между отдельными элементами стружки настолько слаба,



что эти элементы представляют собой совокупность частиц неправильной формы.

Вид образующейся стружки зависит не только от свойств обрабатываемого металла, но также и от скорости резания, геометрии резца и ряда других факторов.

2. ДЕФОРМАЦИЯ СТРУЖКИ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Процесс резания металлов сопровождается пластической деформацией срезаемого слоя, которая проявляется в том, что длина стружки L_1 (рисунок 2) получается короче пути L , пройденного режущей кромкой инструмента по обработанной поверхности, толщина стружки a_1 – больше толщины срезаемого слоя a , а ширина стружки b_1 – больше ширины среза b . Это изменение размеров срезаемого слоя называется усадкой.

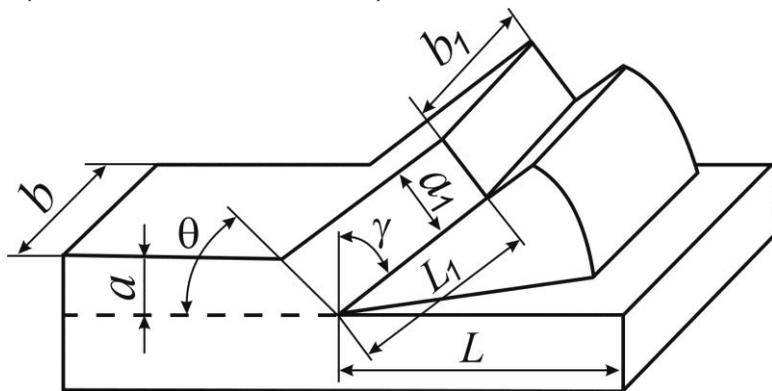


Рисунок 2.- Схема деформации срезаемого слоя

Так как объем деформируемого тела остается неизменным, то объемы срезаемого слоя и стружки равны:

$$a \cdot b \cdot L = a_1 \cdot b_1 \cdot L_1$$

$$\text{откуда } \frac{L}{L_1} = \frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}$$

Степень пластической деформации срезаемого слоя при резании характеризуется ко- эффициентом усадки стружки:



$$K = \frac{L}{L_1} = \frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b} = \frac{a_1}{a}$$

Так как уширение стружки b_1 обычно очень незначительно, то практически им можно пренебречь.

Коэффициент продольной усадки стружки согласно рисунку 1 равен:

$$K_L = \frac{L}{L_1}$$

Коэффициент поперечной усадки стружки определяется по зависимости:

$$K_a = \frac{a_1}{a} = \frac{\cos(\theta - \gamma)}{\sin\theta},$$

где θ - угол скалывания или сдвига,
 γ - передний угол инструмента.

Усадка стружки изменяется в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режимов резания, геометрии инструмента (в первую очередь – переднего угла) и вида смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Внешним признаком пластической деформации в срезаемом слое может служить и вид образовавшейся стружки, зависящий от тех же факторов, что и усадка. При обработке вязких материалов в зависимости от скорости резания получают стружки: элементные ($V=1...2$ м/мин), суставчатые ($V=10...12$ м/мин), сливные ($V=20$ м/мин). Если обрабатывать хрупкие материалы (чугун, бронзу), то при больших подачах и с передними углами $\gamma=20^\circ...30^\circ$ образуется стружка надлома, а при резании с повышенными скоростями, подачам $0,1...1$ мм/об и передними углами $5^\circ...15^\circ$ образуется стружка скалывания.

3. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСАДКИ СТРУЖКИ

3.1. Способ измерения длины стружки заключается в из-



мерении ее длины проволокой или полоской миллиметровой бумаги, а затем ашиштабной линейкой.

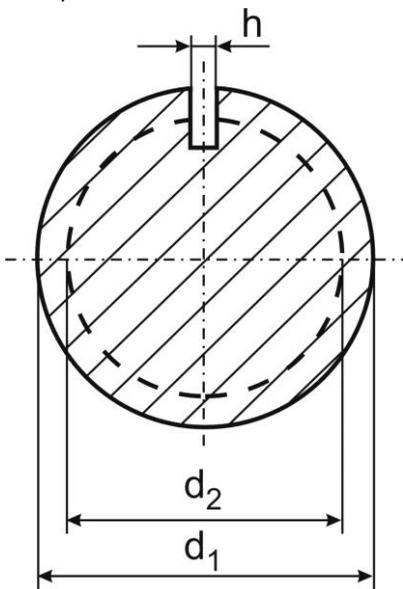


Рисунок 3.- Заготовка для определения усадки стружки при точении

Если усадка измеряется при точении, то пользуются специальными заготовками с продольными пазами (рисунок 3).

Тогда длина пути, пройденного резцом за один оборот заготовки, равна:

$$L = \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} - h$$

где d_1 – диаметр заготовки, мм,

d_2 – диаметр обработанной поверхности, мм,

h – ширина паза в заготовке, мм.

В этом случае, как указывалось выше, коэффициент усадки стружки равен:

$$K_L = \frac{L}{L_1}$$

где L_1 – длина одного элемента стружки.

3.2. Способ измерения площади стружки используют, если невозможно точно измерять длину стружки. В этом случае коэффициент усадки находят, измеряя планиметрированием площадь поперечного сечения стружки.

Тогда

$$K_a = \frac{F_\phi}{F} = \frac{F_\phi}{t \cdot s}$$

где F_ϕ – фактическая площадь стружки, мм²,



Общее материаловедение и технологии материалов

F – номинальная площадь среза, мм²,

t – глубина резания, мм,

s – подача, мм/об.

3.3. Весовой способ определения коэффициента усадки стружки применяется для малопластичных и хрупких материалов, когда невозможно измерить длину стружки. От исследуемой стружки отделяют произвольной длины / кусочек стружки и взвешивают.

Тогда

$$K_a = \frac{G \cdot 10^3}{\gamma \cdot l \cdot t \cdot s'}$$

где G – масса кусочка стружки, г,

l – длина кусочка, мм,

γ – удельный вес металла заготовки, г/см³.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Лабораторная работа выполняется на токарно-винторезном станке модели 1К62 или ТВ4. Режущий инструмент – токарные резцы. Для получения различных видов стружке используются стальные и чугунные заготовки.

При установлении зависимости коэффициента продольной усадки стружки от различных факторов процесса резания следует применять способ измерения длины стружки.

4.1. При обработке стали и чугуна получить ряд стружек, определить их вид и зарисовать. Условия проведения экспериментов приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1 – УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО ВИДА СТРУЖЕК

Обраба-	<i>Режимы резания</i>	Геометрия инструмента	Вид
---------	-----------------------	-----------------------	-----



Обрабатываемый материал	t , мм	s , мм/об	V , м/мин	γ	α	φ	Стружки
Сталь	2	0,2	50	20	8	45	Сливная
	2	1,5	10...12	10	8	45	Суставчатая
Чугун	4	0,2	50	5...15	8	45	Скалывания
	4	1,0	20	20...30	8	45	Надлома

4.2. Установить влияние скорости резания на продольную усадку при обработке стали. Глубина резания, подача и передний угол остаются постоянными: $t=2$ мм, $s=0,08...0,5$ мм/об, $\gamma=+10^\circ$. Из диапазона скоростей резания 10...150 м/мин выбрать пять значений и определить для них коэффициент усадки стружки.

4.3. Установить влияние подачи (толщины среза) на коэффициент усадки стружки. Глубина резания, скорость и передний угол остаются постоянными: $t=2$ мм, $V=30...50$ м/мин, $\gamma=+10^\circ$. Из диапазона подач 0,07...0,6 мм/об выбрать пять значений и определить для них коэффициент усадки стружки.

4.4. Исследовать зависимость усадки от глубины резания. Подача, скорость и передний угол остаются постоянными: $s=0,08...0,5$ мм/об, $V=30...50$ м/мин, $\gamma=+10^\circ$. Из диапазона глубин резания 0,5...2,5 выбрать пять значений и определить для них коэффициент продольной усадки.

4.5. Установить влияние переднего угла резца на усадку стружки. Эксперимент производится при $t=2$ мм, $V=30...50$ м/мин, $s=0,3$ мм/об резцами с различными передними углами: $\gamma=-20^\circ$, -10° , 0° , $+10^\circ$, $+20^\circ$.

4.6. По полученным экспериментальным данным построить зависимости: $K_L=f(V)$, $K_L=f(s)$, $K_L=f(t)$, $K_L=f(\gamma)$,

5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1 Цель работы.

5.2 Описание видов стружки и влияния на них об-



Общее материаловедение и технологии материалов

рабатываемого материала, режима резания и геометрии инструмента.

5.3 Схема деформации срезаемого слоя

5.4 Методы определения усадки стружки.

5.5 Результаты экспериментально установленных зависимостей коэффициента продольной усадки стружки от скорости резания, подачи (толщины срезаемого слоя), глубины резания, величины переднего угла и механических свойств обрабатываемого материала.

5.6 Выводы о влиянии режимов резания и переднего угла на величину коэффициента усадки стружки.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Какие факторы влияют на величину усадки стружки?

6.2. Какова зависимость усадки стружки от скорости резания?

6.3. Какое влияние оказывают геометрические параметры резца на усадку стружки?

6.4. Какие виды стружек образуются при резании металлов?

6.5. Какие существуют способы определения коэффициента стружки?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Грановский ГЛ., Трудов П.П. Резание металлов Машгиз, 1954, с.58-78, 83-90.
- 2 Технология конструкционных материалов. Учебник для машиностроительных специальностей вузов. / Под общ. редакцией А.М. Дальского – М. Машиностроение. 1992
- 3 материаловедение и технология металлов/ Учебник для ВУЗов под ред Г.П.Фетисова.- М.:Высшая школа, 2001. –638 с.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13

МИКРОСТРУКТУРА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение микроструктуры сварных соединений с определением характера структуры сварного шва, зоны термического влияния и основного металла.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

При изучении микроструктуры сварных соединений, состоящих из зоны сварного шва, зоны оплавления и зоны термического влияния, необходима информация о процессах первичной и вторичной кристаллизации сплавов (в результате которых формируется структура сварного шва), закалки, перегрева, нормализации, рекристаллизации и отжига. При этом важно учитывать переохлаждение, ликвацию, возможное наличие неметаллических включений, газовых пор, трещин, возникших за счет усадочных напряжений при первичной кристаллизации сварного шва, образование неравновесных структур, а также термическое влияние на структуру основного металла в околошовной зоне.

Отличие процесса кристаллизации металла сварочной ванны от кристаллизации жидкого металла в изложнице заключается в следующем:

1. Сварочная ванна находится одновременно под воздействием нагрева сварочного пламени и охлаждения со стороны твердого металла (рисунок 1).

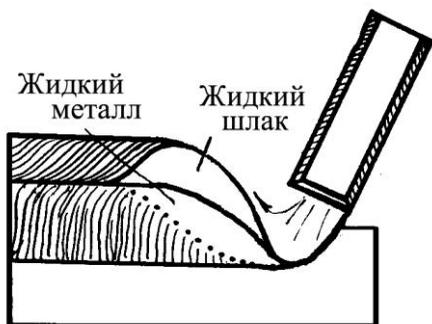


Рисунок 1.- Схема процесса образования валика наплавленного металла

2. Жидкий металл сварочной ванны окружен твердым металлом свариваемого изделия, нагретым до различных температур. В результате металл изделия по боковым стенкам ванны менее нагрет, чем металл сварного шва.

3. Средняя скорость кристаллизации металла шва равна скорости перемещения ванны (скорость сварки).

Под первичной кристаллизацией понимают зарождение и рост кристаллов из расплава при затвердевании сварочной ванны. У металлов и сплавов, не испытывающих аллотропических превращений (алюминий, медь, никель и их сплавы) первичная структура почти не изменяется при ее дальнейшем охлаждении и от нее зависят свойства сварного шва. Поэтому необходимо знать условия ее образования и влияющие на нее факторы.

У металлов и сплавов с аллотропическими модификациями, в том числе у сталей, в процессе охлаждения в твердом состоянии (после первичной кристаллизации) протекает вторичная кристаллизация (перекристаллизация первичной структуры). В этом случае свойства вторичной структуры определяются модификациями, устойчивыми при более низких температурах. Однако существует определенная связь между первичной и вторичной структурой.

При кристаллизации металлических расплавов различают переохлаждение расплава, образование центров кристаллизации и их рост в кристаллы.

Переохлаждение может быть термическим и концентрационным. Термическое переохлаждение имеет значение в технически чистых металлах только при образовании центров кристалли-



зации. Однако при сварке всегда имеются готовые зародыши кристаллизации. Особого внимания заслуживают нерасплавившиеся кристаллиты основного металла, граничащего со сварочной ванной, на которых может происходить эпитаксиальная (с той же кристаллографической ориентацией) кристаллизация из жидкой фазы (первый фронт кристаллизации). В данном случае термическое переохлаждение может быть меньшим или отсутствовать. Рост зародышей (центров кристаллизации) происходит за счет концентрационного переохлаждения, которое развивается только в сплавах и сильно загрязненных металлах. Концентрационное переохлаждение связано с изменением состава жидкой и твердой фаз при кристаллизации сплава в интервале температур ликвидус – солидус. В сварном шве в зависимости от объемного распределения градиентов температур и скорости кристаллизации концентрационное переохлаждение непрерывно возрастает от границы сплавления основного металла со сварочной ванной к середине шва. Поэтому в середине сварного шва вследствие концентрационного переохлаждения может возникнуть второй фронт кристаллизации.

Таким образом, различают два фронта кристаллизации сварочной ванны.

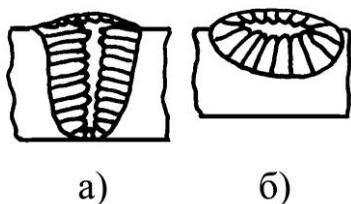


Рисунок 2.- Схема кристаллизации металла сварного шва с глубоким (а) и малым (б) проваром

В результате первого фронта кристаллизации кристаллы растут от частично оплавленных зерен основного металла, граничащих со сварочной ванной и играющих роль готовых центров. Эти кристаллы наиболее быстро растут перпендикулярно к граничным поверхностям и в направлении обратном теплоотводу. При этом образуются ориентированные столбчатые кристаллы.

В условиях сварки столбчатые кристаллы растут от боковых сторон сварочной ванны по направлению к центру шва и расположение их зависит от глубины провара основного металла (рисунок 2).

Кристаллы второго фронта кристаллизации образуются из зародышей кристаллизации в результате концентрационного переохлаждения и имеют равноосное строение. Такие кристаллы растут в средней зоне сварного шва. (см. рис.2).

2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Оценивать структуру сварных соединений по диаграммам состояния можно только приблизительно, так как их условия охлаждения не отвечают равновесному охлаждению, при котором строятся диаграммы состояния. При этом следует учитывать процессы ликвации и возможность образования неравновесных структур.

Для назначения режимов термической обработки сварных соединений и определения влияния теплового воздействия при сварке на зоны основного металла, граничащие со швом, использование диаграмм состояния является вполне возможным.



Более точно можно определить структуру стальных сварных соединений по термокинетическим диаграммам – диаграммам превращения аустенита при непрерывном охлаждении.

В низкоуглеродистой стали с содержанием углерода 0,2-0,4% в результате перекристаллизации образуется структура из зерен феррита и небольшого количества перлита. При этом значительно увеличивается число зерен за счет образования в одном первичном зерне аустенита нескольких зерен феррита и перлита, Такая структура обладает хорошими механическими свойствами.

Однако известно, что в структуре доэвтектоидных сталей избыточный феррит, а в заэвтектоидных – избыточный цементит могут выделяться из аустенита не по границам зерен, а по кристаллографическим плоскостям отдельных кристаллитов в виде полос, прожилок параллельных друг другу или под углом 60-90-120°. Такая структура встречается в литой стали и в стали перегретой при отжиге или горячей механической обработке. Структура перегретой стали нежелательна, так как она снижает механические свойства, особенно сопротивление ударным нагрузкам.

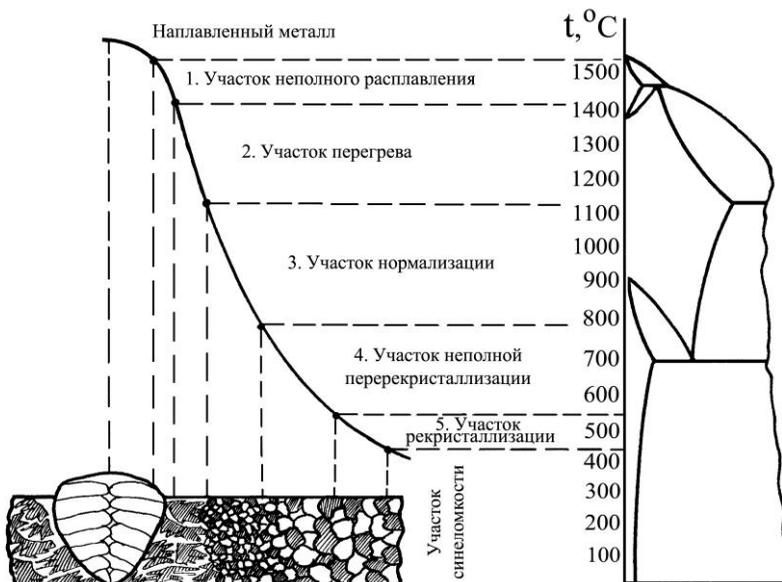


Рисунок 3.- Температурные границы участков зоны термического



ашиинния: а – схема микроструктур околшовной зоны; б- схема диаграммы состояния железо-цементит, с указанными на ней участками зоны термического влияния для низкоуглеродистой стали

Температура нагрева сварного соединения при сварке различна, начиная от нормальной (комнатной) температуры и кончая температурой плавления сплава. Поэтому и структура металла зоны сварного шва, зоны сплавления и различных участков зоны термического влияния будет различной. При этом характер структур в отдельных участках этой зоны может быть определен по диаграмме состояния сплава, подвергаемого сварке.

На рисунке 3 показаны температурные границы и микроструктура участков зоны термического влияния свариваемой низкоуглеродистой стали.

Микроструктура наплавленного металла (сталь 08) в зоне сварного шва состоит из крупных ориентированных кристаллитов феррита и весьма незначительного количества перлитных участков (рисунок 4). Столбчатые кристаллиты феррита в сечениях, не параллельных их продольным осям, могут наблюдаться в виде зернистой структуры. На этом же рисунке видна граница перехода наплавленного металла (зона сварного шва) к участку неполного расплавления (зона сплавления). Для участка неполного расплавления – участка 1 на рисунке 3, а также для участка перегрева-участка 2 на рисунке 3 (рисунок 5) характерна видманштеттова структура с крупными темными зернами перлита (квазиэвтектоида) и феррита в виде светлой сетки, игл или пластин.

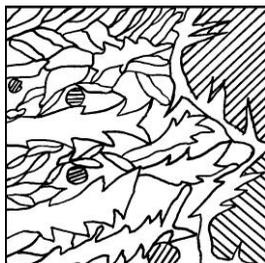


Рисунок 4.- Схема микроструктуры наплавленного металла (сталь 08, феррит и перлит; и стали марки 5 (0,35%С) на участке неполного расплавления (феррит и перлит). $\times 250$



Рисунок 5.- Схема микроструктуры стали марки 5 на участке перегрева. Видманштеттова структура, перлит (квазиэвтектоид) и феррит. $\times 250$

Большое количество квазиэвтектоида объясняется неравновесной кристаллизацией, при которой перлит образуется при содержании углерода меньше 0,8%. Подобная структура обладает, как известно низкими механическими свойствами, особенно низкой ударной вязкостью.

Участок неполного расплавления при максимальной температуре нагрева состоит из смеси жидкой и твердой фаз, что вызывает развитие крупнозернистой структуры. При сварке низкоуглеродистой стали интервал температур неполного расплавления очень мал, что способствует образованию незначительных по размерам и трудноразличимых в структуре стали участков. Вместе с тем, влияние этого участка перехода наплавленного металла к основному на качество сварного соединения весьма значительно.

Участок перегрева с крупнозернистым строением включает металл, нагретый до температуры, близкой к температуре плавления.

Повышение содержания углерода в свариваемой стали ухудшает механические свойства перегретой структуры и затрудняет восстановление их последующей термической обработкой.

Для участка нормализации – участка 3 на рисунке 3, распространяемого на нагреваемый при сварке выше критической точки $A_{с3}$ металл, характерна мелкозернистая структура, состоя-



щая из светлых зерен феррита и темных зерен перлита (рисунок 6).

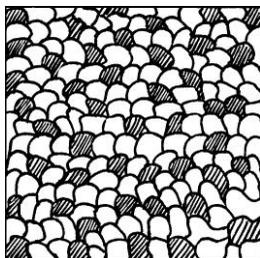


Рисунок 6.- Схема микроструктуры стали марки 5 на участке нормализации. Перлит (квазиэвтектид) и феррит. $\times 250$

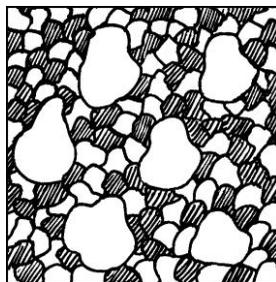


Рисунок 7.- Схема микроструктуры стали марки 5 на участке неполной перекристаллизации. Перлит и феррит. $\times 250$

Значительное измельчение зерна основного металла связано с перекристаллизацией при нагреве и охлаждении. Поэтому участок нормализации металла обладает более высокими механическими свойствами, чем основной металл вне зоны термического влияния.

Участок неполной перекристаллизации – участок 4 на рисунке 3, включает металл, нагретый при сварке в интервал температур от критической точки A_{C1} до A_{C3} . При этом в структуре наблюдаются более крупные светлые зерна феррита, не прошедшие перекристаллизацию, и более мелкие светлые зерна феррита и темные зерна перлита, прошедшие перекристаллизацию (рисунок 7). Значительное различие в размерах зерен снижает механические свойства.

Участок рекристаллизации – участок 5 на рисунке 3 включает металл, нагретый при сварке в интервал температур $500-725^{\circ}\text{C}$. Сильное изменение микроструктуры участка рекристаллизации наблюдается только в стали, предварительно деформированной в холодном состоянии. Микроструктура участка рекристаллизации (рисунок 8) будет отличаться от строчечной структуры холоддеформированной стали (рисунок 9) более произ-



вольно расположенными мелкими светлыми зернами феррита и темными зернами перлита. При этом размер зерен зависит от температуры и времени рекристаллизации.

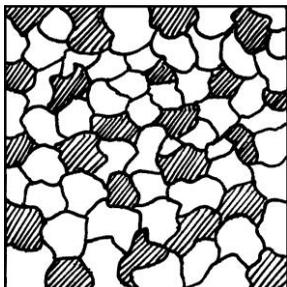


Рисунок 8.- Схема микроструктуры стали 5 на участке рекристаллизации. Перлит и феррит. $\times 250$

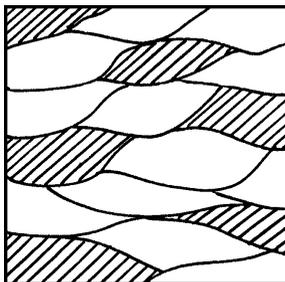


Рисунок 9.- Схема микроструктуры предварительно деформированной стали 5 на участке синеломкости вне зоны термического влияния. Строчечная структура, перлит и феррит. $\times 350$

Металл на участке рекристаллизации будет иметь более высокую пластичность и несколько меньшую прочность и твердость по сравнению с исходным холоднодеформированным состоянием. Изменение структуры и свойств металла на участке рекристаллизации по сравнению с основным недеформированным металлом не наблюдается.

Участок синеломкости – участок 6 на рисунке 3 по структуре совершенно не отличается от основного металла (см. рисунок 9). Однако участок синеломкости при нагреве до температур $200-250^{\circ}\text{C}$ обладает пониженной пластичностью, что может послужить причиной образования трещин при сварке.

Информация о строении и свойствах отдельных участков сварного соединения позволяет более правильно оценить его качество и выбрать соответствующую термическую обработку для него в целом или отдельно для сварного шва.

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Уясните цель работы.



Общее материаловедение и технологии материалов

- 3.2. Изучите особенности формирования структуры сварного соединения.
- 3.3. Изучите микроструктуры сварных соединений низкоуглеродистой стали (альбом, с.31-35).
- 3.4. Изобразите схемы микроструктур сварных соединений низкоуглеродистой стали.
- 3.5. Выполните микроструктурный анализ сварных соединений низкоуглеродистой стали.
- 3.6. Составьте отчет о работе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Цель работы.
- 4.2. Особенности формирования структуры сварных соединений.
- 4.3. Схемы микроструктур сварных соединений низкоуглеродистой стали.
- 4.4. Микроструктурный анализ сварных соединений низкоуглеродистой стали.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Из каких зон состоит сварное соединение?
- 5.2. Каковы отличия процесса кристаллизации металла сварочной ванны от кристаллизации жидкого металла в изложнице?
- 5.3. Что понимают под первичной и вторичной кристаллизацией?
- 5.4. Какие процессы проходят при кристаллизации металлических расплавов?
- 5.5. Что представляют собой кристаллы первого и второго фронта кристаллизации?
- 5.6. Какие участки зоны термического влияния в сварных соединениях вы знаете?
- 5.7. Какой участок зоны термического влияния обладает более высокими механическими свойствами, чем основной металл и почему?
- 5.8. Как изменяются механические свойства металла на участке перегрева при повышении содержания углерода в свариваемой стали?
- 5.9. Каков характер структуры зоны сварного шва?
- 5.10. Как изменяется структура околошовной зоны при переходе



от зоны сварного шва к основному металлу?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Metallurgy, 1986. 544 С., С.341-343.
2. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. М.: Машиностроение, 1989. 336 С., С.26-38.
3. Хори Ф. Атлас структур сварных соединений. М.: Metallurgy, 1977. 288 С., С.30-288.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомление с сущностью процесса пайки, самостоятельное выполнение операций по подготовке и пайке металлических образцов, определение влияния параметров шва на прочность полученных паяных соединений.

ВВЕДЕНИЕ

Пайка – образование соединения с межатомными связями путем нагрева соединяемых материалов ниже температуры их плавления, смачивание их припоем, затекания припоя в зазор и последующей его кристаллизации.

Припой – материал для пайки и лужения с температурой плавления ниже температуры плавления паяемых материалов.

Смачивание припоем – физико- химическое взаимодействие расплавленного припоя с паяемым материалом, проявляющееся в растекании припоя.

Зазор (паяльный) – зазор между поверхностями паяемых заготовок и изделий, образующийся при температуре пайки.

Лужение- образование на поверхности материала металлического слоя путем плавления припоя, смачивания припоем поверхности и последующей его кристаллизации. Лужение является родственной пайке процессом, который можно применять предварительно перед пайкой с целью более надежного контакта между паяемым (основным) металлом и припоем или как покрытие для защиты металлов от коррозии.

Паяный шов – часть паяного соединения, закристаллизовавшаяся при пайке. Зона сплавления – поверхность между паяемым материалом и паяным швом или граница между ними в сечении паяного соединения. Диффузионная зона- часть паяного соединения с измененным химическим составом паяемого материала в результате взаимной диффузии компонентов припоя и паяемого материала.

Прочность сцепления припоя с соединяемыми поверхно-



стями зависит от физико-химических и диффузионных процессов, протекающих между припоем и основным металлом. По прочности паяные соединения уступают сварным. Паять можно углеродистые и легированные стали всех марок, твердые сплавы, цветные металлы и сплавы, серые и ковкие чугуны.

1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И СПОСОБЫ ПАЙКИ

По условиям заполнения зазора пайку можно разделить на капиллярную и некапиллярную.

При капиллярной пайке припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил. Соединение образуется в результате растворения основного металла в жидком припое и последующей кристаллизации раствора. Капиллярную пайку используют при соединении внахлестку.

К некапиллярным способам относятся пайкосварка и сваркопайка. При этом расплавленный припой заполняет паяльный зазор преимущественно под действием своей массы или прилагаемой к нему извне силы.

В зависимости от используемых источников нагрева различают следующие способы пайки: в печах, индукционную, электросопротивлением, погружением в расплавленную соль или припой, электроннолучевую, экзотермическую, плазменную, газоплазменную, паяльником и др.

При различных способах пайки детали собирают в конструкции с использованием различных типов соединений (рисунок 1) и величин капиллярных зазоров.

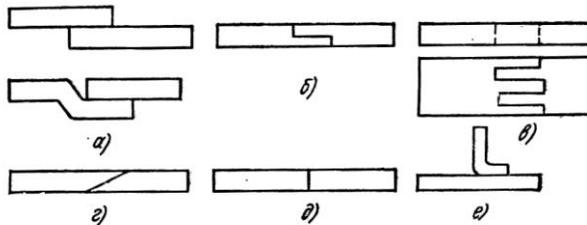


Рисунок 1.- Типы паяных соединений: а – внахлестку, б – ступенчатое, в – гребенчатое, г – косостыковое, д – стыковое,



е – тавровое

Соединения внахлестку являются наиболее распространенными в паяных конструкциях, так как позволяют изменением величины перекрытия деталей достигать равнопрочности паяного соединения. Величину нахлестки назначают в зависимости от прочности основного металла и припоя, способности припоя заполнять зазоры на большую глубину, эрозионной способности припоя.

Практически применяемая величина нахлестки колеблется в пределах от двух до пяти толщин более тонкого из соединяемых элементов паяной конструкция. При пайке тугоплавкими припоями величина нахлестки обычно не превышает двух-трех толщин, а при пайке легкоплавкими припоями – в пределах пяти толщин наиболее гонкой из соединяемых деталей. При этом следует учитывать, что большие величины нахлесток назначать нецелесообразно, так как усилие среза воспринимается главным образом внешними участками паяного шва, а его средняя часть мало нагружена до тех пор, пока не начнется разрушение периферийных участков паяного шва. Кроме того, увеличение нахлестки приводит к повышению расхода припоя, обычно дорогостоящего цветного металла или сплава.

Наряду с правильным выбором основного металла, припоя, способа пайки и величины нахлестки необходимо задавать величину капиллярного зазора.

Зазор под пайку определяет возможность получения качественного паяного соединения, так как от его величины зависят процесс заполнения капилляра расплавленным припоем, полнота протекания различных металлургических процессов и, после затвердевания припоя, прочность паяного соединения.

При увеличенных зазорах припой в шве находится в литом состоянии и, следовательно, прочность соединения будет лимитироваться прочностью литого припоя. Кроме того, капиллярное течение припоя в процессе пайки может прекратиться а заполнение шва не произойдет.



Общее материаловедение и технологии материалов

При слишком малых зазорах капиллярное течение припоя может нарушаться, в результате чего нарушается сплошность паяного шва и снижаются его механические свойства.

Таблица 1 – Рекомендуемые величины зазоров при пайке

Паяемый металл	Припой (основа и легирующие элементы)	Величина зазора, мм	Паяемый металл	Припой (основа и легирующие элементы)	Величина зазора, мм
Алюминий и его сплавы	Al, Zn	0,15-0,25 0,1-0,25	Стали низкоуглеродистые	Cu	0,01-0,05
Медь и ее сплавы	Латунь	0,04-0,20	Сталь	Cu	0,01-0,1
	Cu-P	0,04-0,20		Латунь	0,02-0,1
	Ag-Cu-P	0,02-0,15	Сталь нержавеющая	Cu-Ag, Ag-Mn	0,05-0,1
	Pb-Sn, Sn-Pb	0,05-0,3		Au-Cu, Ni-Cr	0,08-0,2
	Sn-Sb-Ag	0,1	Титан и его сплавы	Ni, Cu, Cu-P	0,03-0,05
Sn-Sb	0,08-0,2	Cu-Zn, Ag, Ag-Mn		0,03	
Никелевые сплавы	Ni-Cr	0,05-0,1	Вольфрам	Ni-Cr	0,05-0,1

При оптимальной величине зазора (таблица 1) несмотря на литую структуру припоя в шве, паяные соединения имеют предел прочности при разрыве и срезе значительно больше предела прочности припоя. Последнее объясняется контактным упрочнением более мягкого припоя, находящегося в зазоре между относительно прочными деталями основного металла, легирующим действием основного металла, направленной кристаллизацией припоя в капиллярном зазоре в результате ашино рующего действия поверхностей паяемых деталей.



2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПАЙКИ

Для проведения пайки необходимы припой и флюсы.

Припой должен хорошо растворять паяемый металл, обладать смачивающей способностью, быть дешевым и недефицитным. Припои представляют собой сплавы цветных металлов сложного состава. Все припои по температуре плавления подразделяют на особолегкоплавкие (температура плавления $\leq 145^{\circ}\text{C}$), легкоплавкие ($145-450^{\circ}\text{C}$), среднеплавкие ($450-1100^{\circ}\text{C}$), высокоплавкие ($1100-1850^{\circ}\text{C}$) и тугоплавкие ($\geq 1850^{\circ}\text{C}$). К особолегкоплавким и легкоплавким припоям относятся оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, кадмия, цинка, олова, свинца. К среднеплавким и высокоплавким припоям – медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Припои изготавливают в виде прутков, проволок, листов, полос, дисков, колец, зерен и др.

Изделия из алюминия и его сплавов паяют припоями на алюминиевой основе с кремнием, медью, оловом и другими металлами. Магний и его сплавы паяют припоями на основе магния с добавками алюминия, меди, марганца, цинка. Изделия из коррозионностойких и жаропрочных сплавов, работающих при высоких температурах (свыше 500°C), паяют тугоплавкими припоями на основе железа, марганца, никеля, кобальта, титана, циркония, гафния, ниобия и палладия.

Флюсы паяльные применяют для очистки и удаления оксидов с поверхности паяемого материала и припоя и предотвращения их образования, а также для снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания и смачивания жидкого припоя. Флюс (кроме реактивно-флюсовой пайки) не должен взаимодействовать с припоем. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. В зависимости от температурного интервала активности паяльные флюсы подразделяются на низкотемпературные ($\leq 450^{\circ}\text{C}$) и высокотемпературные ($> 450^{\circ}\text{C}$). Флюс в расплавленном и газообразном состояниях должен способствовать смачиванию поверхности основного ме-



талла расплавленным припоем. Флюсы могут быть твердые, пастообразные и жидкие. Для пайки наиболее применимы следующие флюсы: бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и борная кислота H_3BO_3 , хлористый цинк ZnCl_2 , фтористый калий KF и др.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Образцы для испытаний изготавливаются из заготовок толщиной 2-9 мм, 30x100 мм. Пример образцов и их нахлесточного соединения представлен на рисунке 2.

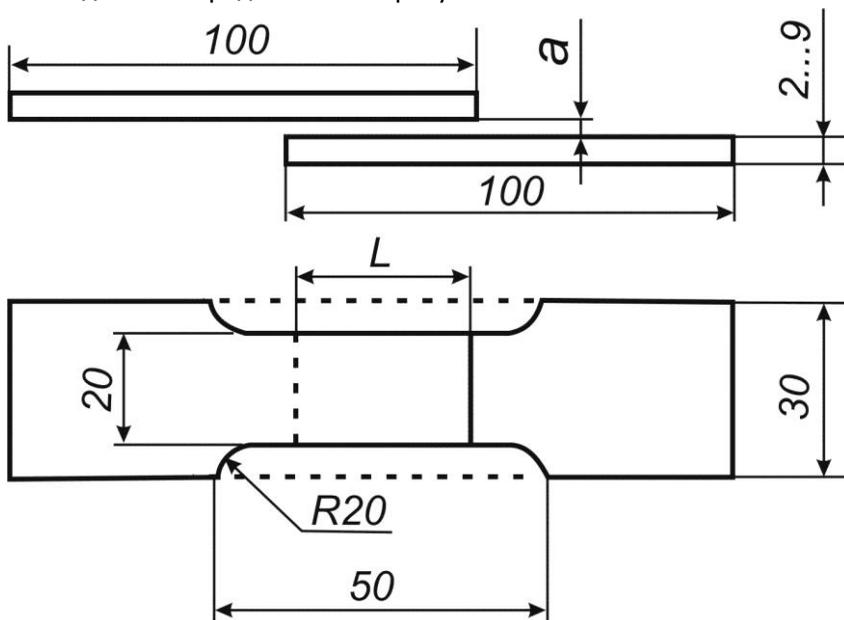


Рисунок 2.- Образцы для испытаний

Для пайки образцов используется оловянно-свинцовый припой ПОС-40. Состав – 39-41% олова, остальное – свинец. Температура плавления ~ солидус 183°C , ликвидус 235°C . Обладает достаточной прочностью, пластичностью, коррозионной стойкостью, хорошей смачивающей способностью по отношению ко многим металлам и сплавам.

В качестве флюса для пайки применяют канифоль, которую получают из смолы хвойных деревьев. Флюсующие свойства канифоли и флюсов на ее основе, которые применяются при низ-



котемпературной пайке, объясняются способностью органических кислот, содержащихся в ней, растворять оксиды меди и некоторых металлов. Являясь поверхностно- активным веществом, она существенно улучшает растекание припоя. При температуре 125°C канифоль переходит в жидкое состояние, при 150°C растворяет оксиды, при 300°C разлагается. Нагрев свыше 300°C приводит к обугливанию канифоли и потере флюсующих свойств. Канифоль применяют в виде порошка или раствора в спирте, глицерине, в смеси керосина и бензина.

Источником нагрева для пайки является печь электросопротивления.

3.1 Подготовка и пайка образцов

3.1.1 Зачистить наждачной бумагой паяемые поверхности (выполняется на ранее непаяных образцах).

3.1.2 Обезжирить растворителем паяемые поверхности (выполняется на ранее непаяных образцах).

3.1.3 Включить электрическую печь.

3.1.4 Смочить паяемые поверхности флюсом.

3.1.5 Установить образцы с естественным зазором в приспособлении для пайки.

3.1.6 Припой в виде компактного куска, дозированного по объему в количестве 120-150% от объема капиллярного зазора, уложить у зазора и закрепить.

3.1.7 При помощи щипцов поместить приспособление для паки с зафиксированными в ней образцами на электрическую печь.

3.1.8 Дождавшись полного расплавления и капиллярного растекания припоя снять приспособление с печи при помощи щипцов и дождаться его полного остывания.

3.1.9 Повторить процесс пайки образцов, помещенных в приспособлении для пайки, с зазором 0,3 мм и 0,6 мм

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПАЯНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Прочность паяного соединения отличается от прочности паяемых материалов и припоя. Она зависит от различных факто-



Общее материаловедение и технологии материалов

ров – способа и технологии пайки, величины паяльного зазора и др. Применяют различные методы испытаний паяных соединений на прочность, например, на растяжение, на срез и др.

Плоские образцы, спаянные внахлестку (см.рис.1,а), наиболее часто подвергают испытанию на срез. Перед испытаниями измеряют длину паяного шва L (мм) и ширину нахлестки b (мм).

По полученным результатам вычисляют площадь паяного шва:

$$F_n = b \cdot L \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Испытания паяных соединений на срез проводят на испытательной машине МР-5.

Образцы с помощью переходных элементов устанавливаются в захватах испытательной машины. Постепенно увеличивая нагрузку P , определяют ее величину P_{\max} по динамометру в момент разрушения соединения.

Прочность паяного соединения на срез, выраженную в мегапаскалях (или в килограммсилах, деленных на квадратные миллиметры), определяют путем деления усилия разрушения, выраженного в Ньютонах (или в килограммсилах), на площадь поверхности паяного шва, выраженную в квадратных миллиметрах, по формуле:

$$\sigma = P_{\max} / F_n \text{ (Мпа) или (кгс/мм}^2\text{)}.$$

Результаты испытаний образцов с различными зазорами и расчетные данные занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний и расчетов

№	Параметры паяного соединения			Наибольшая разрушающая нагрузка, P_{\max} , Н (кгс)	Предел прочности на срез при растяжении σ , Мпа (кгс/мм ²)
	Ширина нахлестки, b , мм	Длина нахлестки, L , мм	Площадь паяного шва, F_n , мм ²		
1					
2					
3					



Общее материаловедение и технологии материалов

По данным таблицы построить графики исследованных зависимостей.

4. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

- 4.1 Цель работы
- 4.2 Основные виды и способы пайки, используемые материалы
- 4.2 Схема пайки образцов
- 4.3 Последовательность подготовки и пайки образцов
- 4.5 Расчет прочности паяных соединений с расшифровкой буквенных обозначений, размерностей
- 4.6 Заполнить таблицу результатов экспериментов
- 4.7 Сделать выводы на основании полученных результатов

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1 В чем состоит сущность процесса пайки?
- 5.2 Каково строение паяного соединения?
- 5.3 Опишите основные виды пайки.
 - 5.4 Из каких компонентов состоит припой?
 - 5.5 Для чего предназначен флюс?
 - 5.6 Назовите типы паяных соединений.
 - 5.7 Какова последовательность подготовки и пайки образцов?
 - 5.8 Каково влияние величины зазора на процесс образования паяного соединения?
 - 5.9 Назовите оптимальные пределы величин зазоров при пайке легкоплавкими припоями.
 - 5.10 Как определяется прочность паяного соединения?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петрунин И.Е., Лоцманов С.Н., Николаев Г.А. Пайка металлов.- М.: Металлургия, 1973.
2. Лашко С.В., Лашко Н.Ф. Пайка металлов. – М: Машиностроение, 1988.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15

НАНЕСЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомление с особенностями и практическими навыками нанесения и исследования гальванических покрытий на поверхностях металлических изделия.

ВВЕДЕНИЕ. Применение защитных, защитно-декоративных и специальных покрытий позволяет решать многие задачи, среди которых важное место занимает защита металлов от коррозии. Коррозией называется поверхностное разрушение металлов вследствие химического или электрохимического воздействия на них окружающей среды. Вследствие коррозии выходит из строя огромное количество деталей и конструкций, сложных приборов и машин.

Гальванические покрытия являются одним из эффективных способов защиты от коррозии. Гальванический метод нанесения покрытия имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами. Покрытия получаются блестящими в процессе электролиза. Гальванические покрытия характеризуются хорошими физико-химическими и механическими свойствами: повышенной твердостью и износостойкостью, малой пористостью, высокой коррозионной стойкостью. При гальваническом методе имеется возможность точно регулировать толщину покрытия. Это особенно важно в целях экономии цветных, драгоценных и редких металлов. Наконец, при электролизе водных растворов можно нанести покрытие таких металлов и сплавов, которые другими способами получить не удастся.

Кроме того, гальванические покрытия широко применяются для придания поверхности деталей ряда ценных специальных свойств: повышенной твердости и износостойкости, высокой отражательной способности, улучшенных антифрикционных свойств, поверхностной электропроводности, облегчения паяемости, а также для улучшения внешнего вида изделий.

Одним из представителей гальванических процессов яв-



Общее материаловедение и технологии материалов

ляется нанесение на поверхность изделия медного покрытия – меднение. Электролиты меднения делятся на два основных типа: кислые и щелочные. К кислым электролитам относятся сернокислые, фторборатные, кремнефторидные и сульфаминовые. К щелочным электролитам относятся цианидные, пирофосфатные.

Кислое меднение. Наиболее широкое использование из кислых электролитов в промышленности имеют сернокислые электролиты, которые дешевы, просты по составу, устойчивы при работе и допускают высокие плотности тока. Недостатками кислых электролитов являются их незначительная рассеивающая способность, невозможность непосредственного покрытия в них железа, цинка их сплавов вследствие контактного выделения меди.

При кислотном меднении применяют ванну с электролитом следующего состава:

Сульфат меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	220 г/л
Серная кислота H_2SO_4	30 г/л

В электролит помещают два электрода, например две медные пластины, которые соединяются с источником тока (рисунок 1). Важнейшей составной частью ванны является сульфат меди. Он диссоциирует в воде по реакции



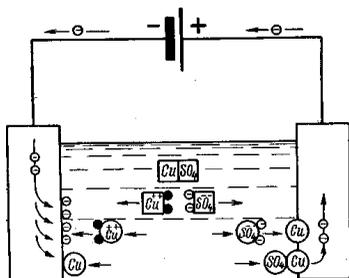


Рисунок 1.- Схема процесса, ашинокающего в гальванической ванне с источником тока (медные электроды погружены в раствор CuSO_4)

Серная кислота препятствует образованию Cu_2O на катоде, повышает электропроводность электролита и уменьшает степень диссоциации CuSO_4 , что способствует получению мелкозернистого покрытия. В спокойном состоянии, т.е. пока в ванну не подано напряжение, оба медных электрода покрываются медью, выделяющейся из электролита, вследствие высокого осмотического давления. Это будет происходить до тех пор, пока

потенциал напряжений атомов и ионов меди не выравнивается.

Если включается ток, то этот потенциал покоя смещается: под воздействием напряжения от постороннего источника тока один электрод заряжается отрицательно и становится катодом. Благодаря этому повышается осмотическое давление ванны, так как на поверхности катода образуется избыток электронов. Он должен компенсироваться вследствие того, что ионы меди из раствора ванны, осаждаясь на поверхности асида, отнимают у него электроны и таким путем дополняются до нейтральных атомов меди $\text{Cu}^{++} + 2e \rightarrow \text{Cu}$ -атом. (рисунок 2).



Общее материаловедение и технологии материалов

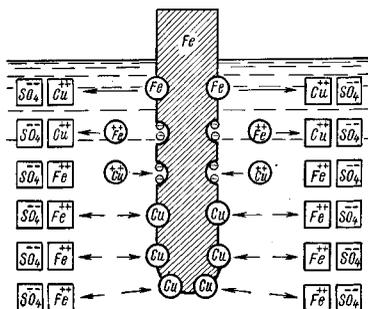
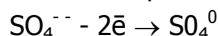


Рисунок 2.- Схема ионного обмена (железная пластина погружена в раствор медной соли).

Под воздействием тока от постороннего источника вторая медная пластина заряжается положительно и становится анодом, ее электроны отнимаются и передаются во внешнюю цепь. Ток от постороннего источника действует так, что металл анода становится электрически неблагородным. Его осмотическое давление

уменьшается настолько, что давление раствора ванны оказывается больше. Отрицательный ион ванны SO_4^{2-} вынужден из-за этого отдать свои избыточные электроны аноду



Итак, оба компонента ванны Cu^{2+} и SO_4^{2-} вынуждены уравнивать свои заряды. Они становятся электрически нейтральными, благодаря чему в ванне опять устанавливается состояние равновесия. Нейтральный SO_4 отнимает у металла анода один Cu -атом, дополняется благодаря этому опять до молекулы $CuSO_4$, которая диссоциирует затем на Cu^{2+} и SO_4^{2-} . Этим достигается исходное состояние, и процесс начинается снова. Содержание металла в ванне остается теоретически постоянным. На практике оно изменяется из-за одновременно протекающего вторичного процесса.

Процесс меднения широко используется в промышленности как предварительный этап формирования более сложных покрытий. Это связано с тем, что формирующийся при меднении поверхностный слой обладает высокой адгезионной способностью и является своеобразной подложкой для облегчения нанесения последующих металлических покрытий.



2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Нанесение гальванического покрытия

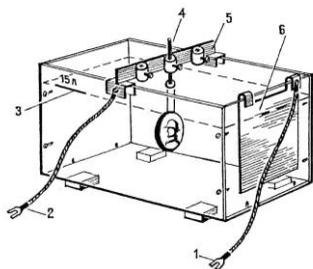


Рисунок 3.- Схема гальванической установки: 1 – "плюс" источника тока (подсоединяется к реостату), 2 – "минус" источника тока, 3 – отметка уровня электролита, 4 – подвес, 5 – катодная штанга, 6 – анодная пластина

Гальваническая

установка состоит из ванны с электролитом, анодной пластины, катодной штанги, источника постоянного тока на 6-12 Вольт, амперметра и реостата (рис.3). Гальваническое осаждение металла на поверхности предмета возможно только при условии, что вся поверхность предмета или весь предмет являются проводниками электрического тока.

Приготовление электролита. В гальванической установке происходит электролиз раствора сернокислой меди (медного купороса) в результате на катоде осаждается чистая медь. Простой электролит меднения, как указывалось выше, состоит из 220 г сернокислой меди, 27 мл серной кислоты. Раствор доливается водой до объема 1 литр. Концентрация выражается в граммах на один литр раствора. Сначала берется 2/3 нормы воды, при повышенной температуре растворяют в ней расчетное количество соли меди. Раствор остужают и фильтруют. Затем осторожно, тонкой струей при помешивании приливают серную кислоту. Раствор сильно азореагует, и его следует охлаждать.

Внимание! Нельзя лить воду в кислоту – кислота при этом разбрызгивается и может вызвать тяжелые ожоги кожи и глаз. В остывший электролит доливают воду до заданного объема.

Технологическая оснастка. Ответственной операцией является электрическое соединение токопроводящего слоя с минусом источника тока. Для соединения используется отоженный и



очищенный медный провод диаметром 0,2–0,5 мм или шинка – полоска мягкой фольги, к которой припаян конец контактного провода.

Если нужно металлизировать не весь предмет, то части его, на которых осажденного металла быть не должно, защищают слоем парафина или воска (изолируют).

Расчет толщины покрытия. Чтобы получить слой меди заданной толщины, нужно в цепи ванны установить определенный ток и знать время, в течение которого толщина меди достигнет желаемой величины. Для этого необходимо подсчитать площадь поверхности предмета.

Зная площадь поверхности предмета, можно вычислить массу осажденной меди при заданной толщине слоя по формуле:

$$M = S \cdot 0,9 \cdot c$$

где M – масса меди в граммах,

S – площадь в см^2 ,

c – толщина в мм.

Время, необходимое для отложения такого количества меди, и величина тока в ванне обратно зависимы: время сокращается, если увеличивать ток.

Величину тока, которую нужно установить реостатом в цепи ванны при выбранной плотности тока, определяют по формуле $I=D \cdot S$, где I – ток в амперах, D – плотность тока в $\text{А}/\text{см}^2$, S – площадь поверхности в см^2 . Также можно подсчитать, сколько времени займет металлизация: $T=M/(1,2 \cdot I)$, где T – время в часах, M – масса меди в граммах, I – ток в амперах.

2.2. Определение твердости и толщины гальванического покрытия

Для определения твердости и толщины полученного гальванического покрытия необходимо приготовить поперечный макрошлиф образца, на который нанесено покрытие. Установить образец на предметный столик микротвердомера ПМТ-3 и определить микротвердость покрытия, а также с использованием микрометрических винтов перемещения столика определить толщину покрытия. Полученные данные заносятся в таблицу:



№ образца	Режим нанесения покрытия	Толщина покрытия, мм	Микротвердость, Мпа
1			
2			
3			
4			
5			

3. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

3.1 Цель работы.

3.2 Краткая характеристика процессов, происходящих в ванне при наличии постоянного источника тока, при получении гальванического покрытия.

3.3 Анализ результатов практического определения толщины и микротвердости образцов.

3.4 Заполнить таблицу результатов экспериментов.

3.5 Сделать выводы на основании полученных результатов.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1 С какой целью применяют гальванические покрытия?

4.2 Опишите процессы происходящие в гальванической ванне при наличии постоянного источника тока?

4.3 В чем состоит подготовка поверхности перед нанесением гальванического покрытия?

4.4 Объясните роль серной кислоты в электролите?

4.5 При каком условии возможно гальваническое осаждение металла?

4.6 Опишите зависимость толщины покрытия от времени и плотности тока?

4.7 Каким образом выполняются измерения толщины и микротвердости покрытия?

РЕКОМЕНДУЕМОЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология конструкционных материалов. Учебник для машиностроительных специальностей вузов. / Под общ. редакцией А.М. Дальского – М. Машиностроение. 1992



Общее материаловедение и технологии материалов

2. Материаловедение и технология металлов/ Учебник для ВУЗов под ред Г.П.Фетисова.- М.:Высшая школа, 2001. –638 с.
3. Дриц М.Е., Москалев М.А. Технология конструкционных материалов и материаловедение. М.: Высшая школа, 1990. – 447 с.
4. Технология композиционных материалов: Учеб. пособие/ Рубанов В.В., Колотиенко С.Д., Кохановский В.А. и др. ДГТУ.- Ростов-на-Дону, 1995. – 89 с.