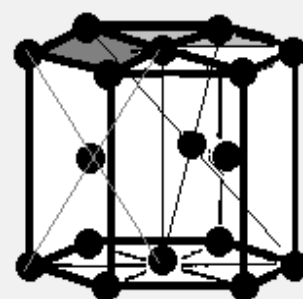
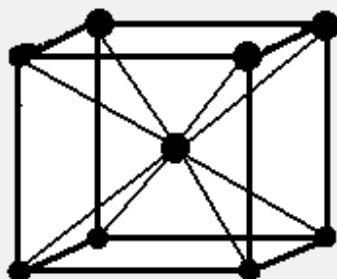
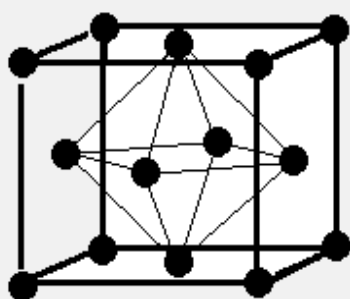


С.В. Епифанова, Б.К. Калиев

Технология конструкционных материалов



Костанай, 2022

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Костанайский региональный университет им. А.Байтурсынова
Кафедра машиностроения

С.В. Епифанова, Б.К. Калиев

Технология конструкционных материалов

Учебно-методическое пособие

Костанай, 2022

УДК 620.22 (075.8)

ББК 30.3 я 73

Е67

Составители:

Епифанова Светлана Викторовна, старший преподаватель кафедры машиностроения инженерно-технического института имени А. Айтмухамбетова КРУ имени А. Байтурсынова.

Калиев Бейбит Кансбаевич, старший преподаватель кафедры машиностроения инженерно-технического института имени А. Айтмухамбетова КРУ им. А. Байтурсынова.

Рецензенты:

Моисеенко Олег Викторович – к.т.н., доцент кафедры транспорта и сервиса, Костанайский инженерно-экономический университет имени М.Дулатова.

Кравченко Руслан Иванович – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры машин, тракторов и автомобилей, инженерно-технического института имени А. Айтмухамбетова КРУ им. А. Байтурсынова;

Жаналинов Базарбай Нургалиевич – к.т.н., доцент кафедры машиностроения, инженерно-технического института имени А. Айтмухамбетова КРУ им. А. Байтурсынова.

Епифанова С. В., Калиев Б. К.

Е67 Технология конструкционных материалов. Учебно-методическое пособие. - Костанай: КРУ им. А. Байтурсынова, 2022.- 106 с.

ISBN 978-601-356-177-6

Учебно-методическое пособие предусматривает изучение основ производства, технологических свойств, фазовых превращений чугуна, стали, цветных металлов и сплавов, широко применяемых в машиностроении, основных способов горячей обработки металлов, ознакомление со свойствами материалов и применением их в различных отраслях машиностроительного производства.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов ВУЗа, изучающих дисциплину «Технология конструкционных материалов».

ББК 30.3 я 73

Е67

Утверждено и рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом Костанайского регионального университета имени А. Байтурсынова, 29.04.2022 г. протокол №3

ISBN 978-601-356-177-6

© Костанайский региональный университет им.А.Байтурсынова

Содержание

Введение	4
Лабораторная работа №1 Строение и свойства металлов, неметаллов и металлических сплавов...	5
Лабораторная работа № 2 Макроструктурный анализ металлов.....	16
Лабораторная работа №3 Микроструктурный анализ металлов.....	24
Лабораторная работа № 4 Изучение методов и оборудования для определения твердости металлов.....	35
Лабораторная работа № 5 Анализ фазовых равновесий в системе Fe-C	42
Лабораторная работа № 6 Термическая обработка сталей.....	56
Лабораторная работа № 7 Отпуск закаленной стали	68
Лабораторная работа № 8 Изучение микроструктуры, свойств и маркировка чугунов.....	72
Лабораторная работа №9 Изучение промышленной классификации сталей и их маркировка.....	79
Лабораторная работа 10 Изучение промышленной классификации твердых сплавов и их маркировка.....	86
Лабораторная работа 11 Изучение промышленной классификации цветных металлов и их маркировка.....	96
Заключение	105
Список использованных источников	106

Введение

Дисциплина «Технология конструкционных материалов» предусматривает изучение основ производства, технологических свойств, фазовых превращений чугуна, стали, цветных металлов и сплавов, широко применяемых в машиностроении, основных способов горячей обработки металлов, ознакомление со свойствами материалов и применением их в различных отраслях машиностроительного производства.

Предлагаемое методическое пособие по дисциплине «Технология конструкционных материалов» составлено в соответствии с учебной программой по данной дисциплине. Оно содержит методические указания и порядок выполнения лабораторных работ. Выполнение студентами предлагаемых работ способствует более глубокому изучению теоретических положений курса.

Описание всех лабораторных работ выполнено по единой схеме, соответственно последовательности выполнения работы студентами. В каждую лабораторную работу входят: 1) цель работы; 2) теоретические сведения; 3) порядок выполнения работы; 4) содержание отчета; 5) контрольные вопросы; 6) список рекомендуемых источников.

Содержащиеся в разделе «Контрольные вопросы» требования в сочетании с полученными теоретическими сведениями способствуют пониманию цели работы и подготовиться к сдаче зачета по ней.

Перед выполнением лабораторной работы осуществляется инструктаж по технике безопасности и выполнению заданий. По окончании работы делаются выводы по работе и проводится их обсуждение.

Формы организации обучающихся на лабораторных работах: фронтальная, групповая, индивидуальная. Оценки за выполнение работ выставляются по сто балльной системе и являются показателями текущей успеваемости обучающихся.

Лабораторные работы повышают уровень подготовки обучающихся и дают возможность осознать необходимость практической ценности приобретенных умений и навыков.

Лабораторная работа №1

Тема: Строение и свойства металлов, неметаллов и металлических сплавов

Цель работы: ознакомление с металлами и металлическими сплавами, их физико-механическими свойствами, а также областью применения; изучение единой терминологии, принятой действующими стандартами.

1 Теоретические сведения

Металлы обладают высокой тепло- и электропроводностью, блеском, ковкостью, и другими свойствами благодаря наличию в их кристаллической решетке большого количества свободных электронов.

Металлы обычно используются в виде сплавов. Металлический сплав – это вещество, обладающее всеми свойствами металлов и полученное в результате взаимодействия двух и более элементов.

Все металлы и сплавы можно разделить на 2 группы: черные (железо и его сплавы) и цветные (все остальные металлы и сплавы).

1.1 Черные металлы

Железо (Fe) – «блестящий серебристо-белый металл с сероватым оттенком, легко обрабатывается резанием и давлением. Его плотность $7,8 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1812 К . В чистом виде из-за низкой прочности практически не используется» [1].

Сталь – «сплав железа с углеродом (до 2,14%) и другими элементами. Содержание углерода оказывает определенное влияние на свойства стали: с увеличением углерода возрастают, например, твердость, предел прочности сплава, но уменьшаются пластичность и ударная вязкость. Плотность стали $7,7-7,9 \text{ г/см}^3$ » [1].

По химическому составу стали делятся на *углеродистые* и *легированные*. «Углеродистая сталь наряду с железом и углеродом содержит марганец (до 1%) и кремний (до 0,4%), а также вредные примеси (серу, фосфор). В состав легированных сталей помимо указанных компонентов, входят легирующие элементы (хром, никель, титан и др.), повышающие качество сплавов».

По назначению стали подразделяются на: конструкционные, инструментальные и стали с особыми физическими и химическими свойствами. «Конструкционные стали (содержание углерода примерно 0,4...0,7%) применяют для изготовления деталей машин, конструкций и сооружений. Эти стали должны обладать высокой прочностью, пластичностью и вязкостью в сочетании с хорошими технологическими свойствами.

Инструментальные стали отличаются довольно высоким содержанием углерода (0,7...2,14%) и обладают высокой твердостью, прочностью, износостойкостью; применяются для изготовления различного инструмента.

По качеству стали классифицируют на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особовысококачественные.

По способу придания формы и размеров различают сталь литую (стальное фасонное литье), ковкую (поковки, свободнойковки и штампковки), катаную (прокат различного профиля: прутки, лента, лист и др.)».

Чугун – «сплав железа с углеродом (более 2,14%), некоторым количеством марганца, кремния, серы, а иногда другими элементами. Чугун более хрупок, чем сталь, он хуже сваривается, но обладает лучшими литейными свойствами. Поэтому изделия из чугуна получают исключительно литьем. Плотность чугуна 7-8 г/см³» [1].

По назначению и химическому составу чугуны подразделяются на: литейные, передельные, ковкие и специальные.

«В отливках из серого чугуна (литейного) углерод находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита, сообщающего излому серый цвет. Серый чугун сравнительно мягок, хорошо обрабатывается резанием и обладает отличными литейными свойствами, поэтому из него изготавливается чугунное литье для нужд машиностроения и других отраслей промышленности (корпусные детали, станины, блоки цилиндров и т.п.).

Отливки из белого чугуна (передельного) в изломе блестяще-белого цвета (отсюда и название), чугун хрупок, тверд и трудно обрабатывается резанием, т.к. углерод находится в связанном состоянии в виде карбида железа. Белые чугуны перерабатываются в сталь, поэтому их и называют передельными.

Ковкий чугун получают путем длительного отжига белого чугуна. Он имеет в структуре графит хлопьевидной формы и в связи с этим обладает довольно высокими механическими свойствами, прежде всего пластичностью. Ковкие чугуны используют для изготовления ответственных и тонкостенных отливок (корпусы подшипников, картеры редукторов, звездочки приводных цепей и т.п.).

Для повышения качества чугунных отливок применяют модифицирование чугуна путем добавки незначительных количеств модификаторов. Большое распространение получил так называемый высокопрочный чугун с включениями шаровидного графита (модифицирование серого чугуна магнием или цезием). Предел прочности этого вида чугуна очень высок, основные физические и технологические качества его также выше, чем у серого. Из высокопрочного чугуна изготавливают как мелкие тонкостенные отливки (поршневые кольца), так и отливки массой более 10 т (шаботы ковочных молотов, рамы прессов и прокатных станов).

Специальные чугуны, называемые также ферросплавами (ферросилиций, ферромарганец, феррохром и др.), отличаются от обычного чугуна повышенным содержанием кремния и марганца, а также хрома, титана, вольфрама и других элементов: применяются ферросплавы для раскисления и легирования стали».

1.2 Цветные металлы и сплавы

Алюминий – «легкий металл серебристо-белого цвета, его плотность $2,7 \text{ г/см}^3$, температура плавления 933 К . Механические свойства литого алюминия высокой чистоты и технического (отожженного)- алюминия соответственно следующие: предел прочности $\sigma_B=50$ и 80 МПа , твердость $\text{НВ } 150$ и 250 МПа , относительное удлинение $\delta=45$ и 30% .

Чистый алюминий - хороший проводник тепла и электрического тока, легко поддается холодной и горячей обработке давлением. Применяется для изготовления электропроводов, химической аппаратуры, для производства легких сплавов и т. п.

Основное промышленное применение получили алюминиевые сплавы, которые можно разделить на две группы: деформируемые и литейные.

Деформируемые сплавы обладают достаточно высокой прочностью и пластичностью ($\sigma_B=120\text{...}350 \text{ МПа}$, $\text{НВ } 400\text{...}500$, $\delta = 10\text{...} 25\%$) и поэтому сравнительно легко поддаются обработке как в горячем, так и в холодном состоянии (прокатке, прессованию, волочению, ковке, штамповку и др.); из деформируемых сплавов изготавливают прутки, листы, проволоку, прессованные профили, поковки и т.д.

К этой же группе сплавов относятся и дуралюмины сплавы со сложным химическим составом, основу которого составляют алюминий, медь и магний; для повышения коррозионной стойкости добавляют марганец. Дуралюмины характеризуются небольшой плотностью, высокой прочностью, достаточной твердостью и вязкостью ($\sigma_B = 200\text{...}250 \text{ МПа}$, $\text{НВ } 400\text{...}500$, $\delta = 18\text{...}25\%$).

Из литейных алюминиевых сплавов изделия получают методом литья. Такие сплавы обладают высокой жидкотекучестью, что позволяет изготавливать тонкостенные, плотные отливки со сравнительно малой усадкой, без трещин, с высокой прочностью, коррозионной стойкостью, тепло- и электропроводностью ($\sigma_B = 130\text{...}300 \text{ МПа}$, $\text{НВ}500\text{...} 800$, $\delta = 2\text{...}6\%$)».

Медь – «мягкий, пластичный металл розово-красного цвета, его плотность $8,44 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1356 К . Во влажной атмосфере покрывается зеленой пленкой окиси. Обладает высокой электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью, пластичностью (соответственно для литой и горячедеформируемой технической меди $\sigma_B=160$ и 240 МПа , $\text{НВ } 160$ и 40 , $\delta=25$ и 45%), что и определяет область ее применения: около 50% добываемой меди идет на нужды электротехнической промышленности. На основе меди изготавливают также сплавы - латуни, бронзы и др.

Медно-цинковые сплавы с содержанием меди от 55 до 91% называются *латунями*. Добавка в сплав, таких элементов, как алюминий, марганец и др., повышает его твердость, прочность ($\sigma_B=260\text{...}450 \text{ МПа}$, $\text{НВ}530\text{...}1000$, $\delta=25\text{...}65\%$). Латуни нашли широкое распространение в машиностроении для изготовления листов, лент, полос, труб, арматур, втулок и т.д.»

Цинк – «блестящий металл голубовато-белого цвета, его плотность $7,1 \text{ г/см}^3$, температуру плавления 692 К . На воздухе покрывается пленкой окиси.

Применяется в качестве листового проката, в сплавах с другими металлами, для цинкования изделий, в химическом производстве и др».

Никель – «пластичный, блестящий белый металл с серебристым оттенком. Его плотность $8,9 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1726 К . Применяется главным образом в качестве легирующего элемента в производстве специальных сталей и сплавов (жаропрочных, нержавеющей и др.) и для защитных покрытий (никелирования).

Никелевые сплавы отличаются жаростойкостью, жаропрочностью, ценными магнитными или электрическими свойствами, высокой коррозионной стойкостью, прочностью и пластичностью (для мягких и твердых сплавов соответственно $\sigma_B = 420\text{...}600$ и $730\text{...}820 \text{ МПа}$, $\text{HB}900\text{...}1400$ и 1900 , $\delta = 40$ и 3%). Благодаря этим ценным свойствам, никелевые сплавы используются для изготовления специальной аппаратуры, деталей точных измерительных приборов и т.п» [1].

Бронзы - это «сплавы меди с любым другим металлом (кроме цинка), а также с металлоидами. В качестве компонентов сплава применяются олово, алюминий, бериллий, марганец, свинец, кремний и др. Разнообразные бронзы, обладающие высокой прочностью, пластичностью, антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью, применяются в различных отраслях техники» [1].

Свинец – «блестящий, мягкий металл синевато-серого цвета, очень пластичен, плотностью $11,3 \text{ г/см}^3$ температурой плавления 600 К , легко обрабатывается давлением в холодном-состоянии. Применяется для изготовления оболочек кабелей, аккумуляторных пластин, химической аппаратуры и в виде сплавов с другими металлами» [1].

Магний – «очень легкий, пластичный, блестящий металл серебристо-белого цвета, плотностью $1,74 \text{ г/см}^3$ и температурой плавления 924 К . Механические свойства деформированного и отожженного магния: $\sigma_B=190 \text{ МПа}$, $\text{HB}400$, $\delta=11\%$. Применяется для производства легких сплавов, раскисления получения ванадия, титана, урана, а также высокопрочного чугуна и др» [1].

Хром – «серебристо-белый блестящий металл плотностью $7,2 \text{ г/см}^3$ и температурой плавления 1823 К . Применяется главным образом в качестве легирующего элемента при выплавке жаропрочной, легированной стали и других сплавов, а также для защитных покрытий (хромирование)» [1].

Олово – «мягкий, пластичный (плотность $7,3 \text{ г/см}^3$, температура плавления 505 К), серебристо-белый блестящий металл, медленно тускнеющий на воздухе. Применяется для изготовления белой жести (консервная промышленность), в виде сплавов с другими материалами (бронза, антифрикционные сплавы) и для пайки» [1].

Титан – «легкий, тугоплавкий, прочный и пластичный металл серебристо-белого цвета, его плотность $4,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1938 К . Чистый титан имеет следующие механические свойства: $\sigma_B=250 \text{ МПа}$, $\text{HB}<1000$ и $\delta=60\%$, а у технического титана, содержащего значительно больше примесей, $\sigma_B = 300\text{...}550 \text{ МПа}$, $\text{HB} 2070$, $\delta = 27\text{...}30\%$. Чем больше примесей, тем выше

прочность и ниже пластичность. Используется в химической промышленности, для производства сплавов, характеризующихся высокой прочностью, небольшой плотностью, высокой коррозионной стойкостью. Титановые сплавы также широко применяются в самолето- и ракетостроении. С углеродом титан образует очень твердые карбиды. Механические свойства титановых сплавов в отожженном состоянии: $\sigma_B=800\dots1000$ МПа, НВ 2600...3000, $\delta = 8\dots20\%$ ».

Молибден – «серебристо-серый блестящий тугоплавкий металл, его температура плавления 2893 К, плотность-10,2г/см³ ($\sigma_B =800\dots2500$ МПа, НВ 2000...2550). Используется в производстве легированных сталей жаропрочных и кислотоупорных сплавов, для электроосветительных ламп и электровакуумных приборов».

Бериллий – «легкий светло-серый металл с плотностью 1,85 г/см³ и температурой плавления 1557 К. Имея небольшую плотность, бериллий превосходит по прочности (при температуре 773 К) даже титановые сплавы. Бериллий является также хорошим замедлителем нейтронов. Кроме того, он обладает большой коррозионной стойкостью, благодаря чему получил применение в авиации, ракетостроении и ядерной технике».

Вольфрам – «тяжелый тугоплавкий металл (плотность 19,3 г/см³ температура плавления 3683 К) светло-серого цвета. Широко применяется при изготовлении электрических ламп (нити накаливания) деталей в радиоэлектронике, а также для легирования стали, в производстве твердых, износостойких и жаропрочных сплавов».

Цирконий – «химически активный твердый тугоплавкий металл серебристо-белого цвета. Чистый йодный цирконий отличается пластичностью, хорошо обрабатывается, представляет собой прекрасный антикоррозионный материал, его плотность 6,4 г/см³, температура плавления 2125 К. Благодаря своим свойствам цирконий применяется для изготовления деталей химической аппаратуры, медицинского инструмента, служит конструкционным материалом в ядерной энергетике и т.д. Добавка его в стали и цветные сплавы позволяет значительно повысить их механические свойства.

Механические свойства технически чистого циркония оценивают значениями $\sigma_B =400\dots600$ МПа и $\delta =20\dots30\%$ ».

2 Строение и свойства металлов

Металлы – один из видов конструкционных материалов, имеющий набор свойств:

К физическим свойствам металлов относят плотность, температуру плавления, блеск, непрозрачность, цвет, теплопроводность, электропроводность, тепловое расширение. По плотности металлы подразделяют на легкие (до 3000 кг/м³) и тяжелые (от 6000 кг/м³ и выше); по температуре плавления - на легкоплавкие (до 973 К) и тугоплавкие (свыше 1173 К). Каждый металл или сплав обладает определенным, присущим ему цветом.

Прочность – «способность металла в определенных условиях и пределах не разрушаясь воспринимать те или иные воздействия, нагрузки» [1]. Это

свойство учитывается при изготовлении и проектировании изделий, выборе того или иного металла, сплава. Наибольшее напряжение, которое может выдержать металл, не разрушаясь, называют **пределом прочности**, или временным сопротивлением разрыву. Образцы для измерения прочности подвергают испытанию на специальной разрывной машине, которая постепенно, с возрастающей силой растягивает образец до полного разрыва.

Упругость – «свойство металла восстанавливать свою форму после прекращения действия внешних сил, вызвавших деформацию» [1]. Наибольшее напряжение, после которого металл возвращается к своей первоначальной форме, называют пределом упругости. Если при дальнейшем повышении нагрузки напряжение превышает предел упругости и удлинение сохраняется после разгрузки образца, такое состояние **называют остаточным удлинением**. Далее наступает предел текучести, т.е. образец продолжает удлиняться без увеличения нагрузки.

Пластичность – «свойство металла под действием внешних сил изменять, не разрушаясь, свою форму и размеры и сохранять остаточные (пластические) деформации после устранения этих сил» [1]. Данное свойство также определяется и измеряется на разрывной машине. Высокой пластичностью обладают золото, серебро, платина и их сплавы. Менее пластичны медь, алюминий, свинец. Это свойство металлов имеет большое значение в давальном и штамповочном производстве, волочении, прокатке.

Твердость – «свойство металлов сопротивляться проникновению в них другого тела под действием внешней нагрузки, что необходимо учитывать при выборе инструментов для обработки металлов резанием» [1]. Например, важно знать твердость обрабатываемого металла, чтобы подобрать соответствующую фрезу или сверло. Испытания металлов на твердость проводят на специальных приборах - твердомерах.

Выносливость – «свойство металлов сопротивляться действию повторных нагрузок». [1] Температурные условия значительно влияют на механические свойства металлов: при нагревании их прочность понижается, а пластичность увеличивается; при охлаждении некоторые металлы становятся хрупкими, например, сталь некоторых марок, цинк и его сплавы. Нехладноломкими являются алюминий и медь.

Хрупкость – «некоторые металлы обладают хрупкостью и при нормальных условиях, примером является серый чугун». В производстве изделий учитывается способность металлов поддаваться обработке, т.е. такие их технологические свойства, как ковкость, жидкотекучесть, литейная усадка, свариваемость, спекаемость, обрабатываемость резанием и некоторые другие.

Ковкость – «способность металлов подвергаться ковке и другим видам обработки давлением (прокатке, прессованию, волочению, штамповке)» [1]. Металлы могут коваться в холодном состоянии (золото, серебро, медь), а также в горячем (сталь).

Износостойкость – «способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения» [1].

Коррозионная стойкость – «способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред».

Жаростойкость – «это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре».

Жаропрочность – «это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах».

Хладостойкость – «способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах».

Антифрикционность – «способность материала прирабатываться к другому материалу» [1].

Жидкотекучесть – «свойство расплавленного металла заполнять литейную форму». Высокой жидкотекучестью обладают цинк и его сплавы, чугун, бронза, олово, силумин (сплав алюминия с кремнием), латунь, некоторые магниевые сплавы. Низкой жидкотекучестью обладают сталь, красная медь, чистое серебро.

Литейная усадка – «уменьшение объема металла при переходе из жидкого состояния в твердое» [12]. Это необходимо учитывать при изготовлении формы для отливки. Отливка получается всегда меньше модели, по которой сделана форма. Металлы с большой усадкой для литья почти не используют.

Свариваемость – «способность металла прочно соединяться путем местного нагрева и расплавления свариваемых кромок изделия» [12]. Сплавы свариваются труднее, чистые металлы — легче. Легко свариваются изделия из малоуглеродистой стали. Плохо поддаются сварке чугун и высокоуглеродистые легированные стали.

Из химических свойств металлов и их сплавов наиболее важными в производстве художественных изделий являются растворение (взаимодействие с кислотами и щелочами) и окисление (антикоррозийная стойкость, т.е. стойкость к воздействию окружающей среды - газов, воды и т.д.).

Растворение (разъедание) - «способность металлов растворяться в сильных кислотах и едких щелочах». Это свойство широко используется в различных областях производства художественных изделий. Растворение бывает частичное и полное. Частичное применяется для создания чистой поверхности изделия.

Окисление – «способность металлов соединяться с кислородом и образовывать окислы металлов». [12]

Данные свойства обусловлены особенностями строения металлов.

Все металлы, затвердевающие в нормальных условиях, представляют собой кристаллические вещества, то есть укладка атомов в них характеризуется определённым порядком – периодичностью, как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием кристаллическая решётка, т.е. **кристаллическая решетка** – это воображаемая пространственная решетка, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело.

Элементарная ячейка – «элемент объёма из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл» [8].

Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла. «Основными параметрами кристалла являются:

-размеры ребер элементарной ячейки. a , b , c – периоды решетки – расстояния между центрами ближайших атомов. В одном направлении выдерживаются строго определенными.

-углы между осями (α , β , γ).

-координационное число (K) указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке.

-базис решетки количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки».

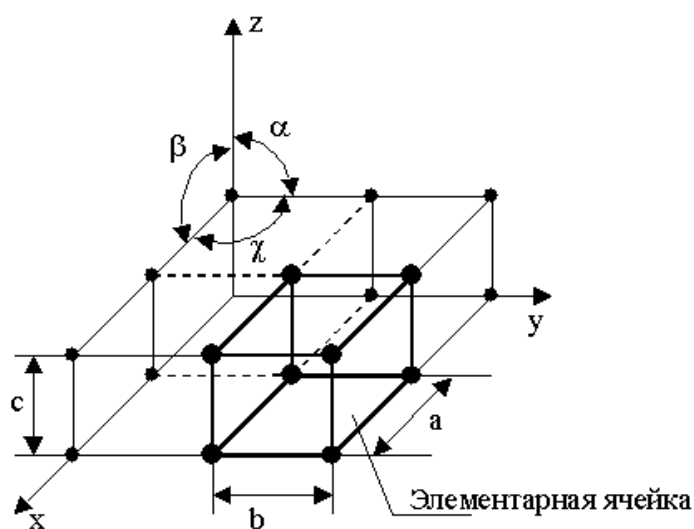


Рисунок 1 – Схема кристаллической решетки

Классификация кристаллических решеток была проведена и предложена французским ученым О. Браве, соответственно они получили название «решетки Браве». Всего для кристаллических тел существует четырнадцать видов решеток, разбитых на четыре типа;

-примитивный – узлы решетки совпадают с вершинами элементарных ячеек;

-баз центрированный – атомы занимают вершины ячеек и два места в противоположных гранях;

-объемно-центрированный – атомы занимают вершины ячеек и ее центр;

-гранецентрированный – атомы занимают вершины ячейки и центры всех шести граней

В металлических материалах, как правило, формируются три типа кристаллических решеток: объемно-центрированная кубическая (ОЦК), гранецентрированная кубическая (ГЦК) и гексагональная плотноупакованная (ГП). Элементарные ячейки ОЦК, ГЦК и ГП решеток показаны на рис. 2.

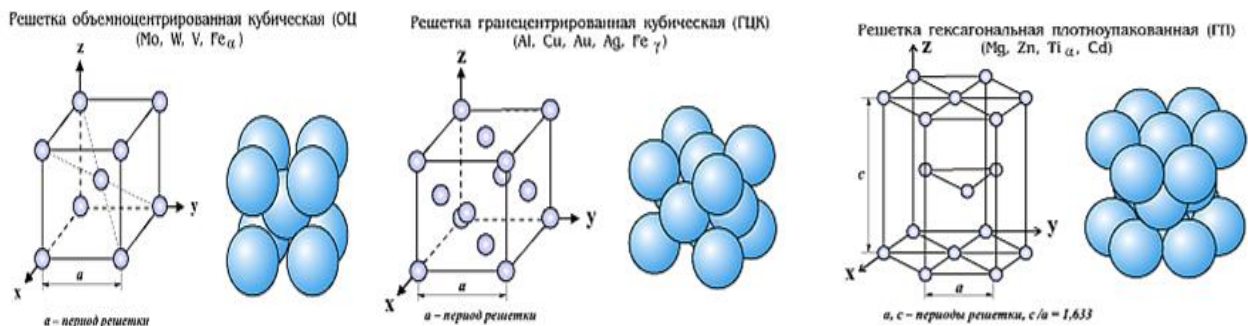


Рисунок 2 – Типы кристаллических решеток металлов.
Г.Ц.К., О.Ц.К., Г.П.У.

«Основными типами кристаллических решеток являются:

1. Объемно - центрированная кубическая (ОЦК), атомы располагаются в вершинах куба и в его центре
2. Гранецентрированная кубическая (ГЦК), атомы располагаются в вершинах куба и по центру каждой из 6 граней
3. Гексагональная, в основании которой лежит шестиугольник:
 - простая – атомы располагаются в вершинах ячейки и по центру 2 оснований (углерод в виде графита);
 - плотноупакованная (ГПУ) – имеется 3 дополнительных атома в средней плоскости (цинк)» [5].

ОЦК решетку имеют такие металлы, как вольфрам, молибден, ниобий, низкотемпературные модификации железа, титана, щелочные металлы и ряд других металлов. Серебро, медь, алюминий, никель, высокотемпературная модификация железа и ряд других металлов имеют ГЦК решетку. ГП решетка у магния, цинка, кадмия, высокотемпературной модификации титана.

Пластмассы – «обладают довольно малой плотностью (1,1...1,8/г/см³). Они почти в два раза легче алюминиевых сплавов, в 5-6 раз легче черных металлов. Пластические массы обладают значительной прочностью, коррозионной стойкостью в ряде агрессивных сред, фрикционными (некоторые антифрикционными) и диэлектрическими свойствами, водо-, морозо- и светостойкостью».

При замене черных металлов пластмассами трудоемкость изготовления изделий снижается в 5 раз, а себестоимость в 3-5 раз. Еще более эффективна замена пластмассами цветных металлов: например, детали из пластмасс в 10 раз дешевле бронзовых.

Благодаря малой плотности и другим достоинствам, пластмассы широко применяются в авто-, самолето- и ракетостроении, в точном приборостроении, электропромышленности, радиотехнике, телевидении и т.д.

Древесные материалы – «(плотность 0,45... 1,4 г/см³) изучаются более подробно в специальной лабораторной работе, и поэтому в отчете данной работы достаточно указать область применения и внешние отличительные признаки (цвет, текстура, блеск и запах), По цвету различают породы древесины и

определяют их качество: равномерная окраска характеризует доброкачественность древесины, темные и цветные полосы указывают на ее повреждение гнилью, плесенью и т.д.

Текстурой древесины называют естественный рисунок на ее разрезах, характерный для каждой породы.

Древесина ряда пород (бук, ясень и др.) обладает блеском, который наиболее ярко выражен на радиальной поверхности. Запах древесины обусловлен находящимися в ней эфирными маслами, смолами и дубильными веществами» [1].

3 Порядок выполнения работы

Задание: Ознакомиться с основными физическими свойствами материалов и систематизировать их:

1. Изучить общие определения и стандарты на металлы, металлические сплавы и неметаллические конструкционные материалы.

2. Изучить образцы металлов, металлических сплавов и неметаллических конструктивных материалов, их свойства, области применения.

3. Определить материал образцов, плотность, температуру плавления (если есть данный показатель).

4. Ознакомиться с образцами проката, штамповки, поковок, фасонным литьем.

5. Результаты записать в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация свойств материалов

Номер образца	Материал образца	Номер стандарта	Физические свойства	Плотность, г/см ³	Механические и химические свойства	Области применения
1	2	3	4	5	6	7

4 Содержание отчета

1. Цель работы;
2. Протокол порядка выполнения работы;
3. Заполнить таблицу 1 - «Классификация свойств материалов»;
4. Составить схему «Классификация конструкционных материалов»

4. Сделать выводы о проделанной работе.

5 Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладают древесные материалы?
2. Составьте схему «Классификация сталей».
3. Какие металлы и сплавы называются черными? Назовите их
4. Что представляют собой пластмассы? Каково их значение в современной технике?
5. Что такое Кристаллическая решетка? Кто классифицировал их? Сколько видов кристаллических решеток существует?
6. Какие сплавы относятся к цветным? Назовите их.
7. Для каких целей применяются цветные металлы в технике.
8. Пользуясь справочником, определите, какой чугун СЧ18-36 или КЧ45-7 является самым прочным.
9. Охарактеризуйте состав и области применения сталей, пластмасс, латуни и бронзы.

6 Список рекомендуемых источников

1. Гуляев А.П. Металловедение.- М.: Металлургия, 2015.- 544С., С.142-160.
2. Акулов В. М Методические указания для выполнения лабораторных работ по курсу «Технология конструкционных материалов» Кустанай, 1989
3. Адашкин А.М., Зуев В.М. Материаловедение (металлообработка) 2-е изд., М.; Издательский центр «Академия», 2003.
4. Борисов В.И. Лабораторией практикум по металловедению и термической обработке М., «Высшая школа», 2012.
5. Бородулин В.Н., Воробьев А.С и др.; Под.ред Филикова В. А. Электротехнические и конструкционные материалы. М., Мастерство. Высшая школа, 2001
6. Некрасов С.С. Практикум по технологии конструкционных материалов М . «Колос», 1978.

Лабораторная работа № 2

Тема: Макроструктурный анализ металлов

Цель работы: изучение методики проведения, приемов макроструктурного анализа металлов.

1 Теоретические сведения

Макроструктура – «строение металлов и сплавов, выявляемое невооруженным глазом или лупой ($\times 30$) на шлифованных и/или протравленных образцах» [2]. Макроструктурный метод позволяет анализировать всю поверхность изучаемого объекта или значительную ее часть. Макроструктуру можно наблюдать на поверхности детали, в изломах, а также на специально подготовленной поверхности образца - макрошлифе, который получают путем шлифования и травления различными реактивами. В результате избирательного растворения металла на поверхности макрошлифа выявляется структура, по которой судят о строении и "поведении" металла в процессе обработки и его качестве. Состав реактивов для травления зависит от природы металла и определяемых целью исследования задач. Например, для выявления структуры слитков и проката из стали различных марок применяют раствор соляной, серной кислот и воды в соотношении 1:2:3 при температуре 95-100^oC. При этом травление проводят в течение 1,5-2 ч погружением макрошлифов в раствор. С целью сохранения структурной картины макрошлифы тщательно промывают в проточной воде и протирают ватным тампоном, смоченным в спирте. Макрошлиф, приготовленный на поверхности сечения детали, часто называют темплетом. Для выявления различных особенностей макроструктуры применяют специальные реактивы.

2 Макроструктурный анализ металлов

2.1 Макроструктура отливок (слитков)

Д. К. Чернов в 1878 г впервые дал описание процессов кристаллизации на основе макроструктурного анализа.

Для изучения строения слитка делают продольный и поперечный разрезы, шлифуют и протравливают.

При исследовании макрошлифа слитка выявляют:

- зоны кристаллизации,
- усадочные раковины,
- газовые пузыри.
- ликвацию,
- рыхлость,

Неравномерное растворение поверхности металла приводит к появлению макрорельефа, который отражает развитие процесса кристаллизации слитка. Наиболее часто можно наблюдать три основные зоны кристаллизации (рис.1): 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.

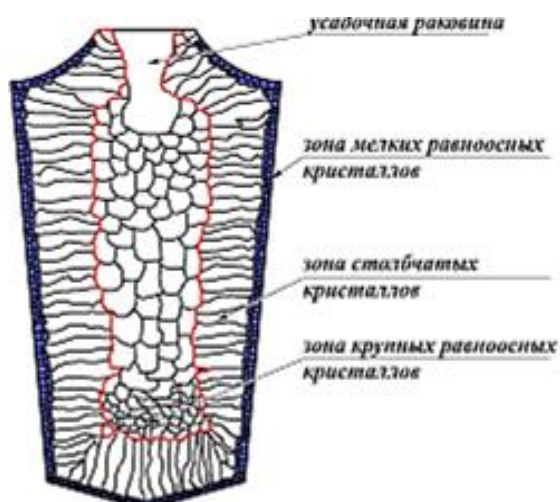


Рисунок 3 – Схема макроструктуры стального слитка:

Форма кристаллитов зависит от условий их роста: интенсивности и направления отвода тепла, температуры жидкого металла, а также от наличия примесей, способных быть центрами кристаллизации. Рост кристаллов происходит по дендритной (древовидной) схеме. Д.К.Чернов показал, что 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) рис.3.

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. Д.К.Чернов нашел в усадочной раковине 100-тонного стального слитка крупный дендрит, который имел длину 39 см и массу 3,45 кг.

После кристаллизации металл занимает меньший объем, чем жидкий. Уменьшение объема при переходе металла из жидкого состояния в твердое называется усадкой, в результате усадки внутри слитка образуются усадочные

раковины, рыхлость, поры. Усадочные раковины образуются в том месте, где металл кристаллизуется в последнюю очередь. Размер, форма и расположение усадочных раковин зависит от 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.

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.

Ликвацией называется неравномерность слитка по химическому составу. Различают следующие виды ликвации: внутрикристаллитную (дендритную), зональную и по удельному весу.

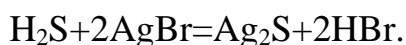
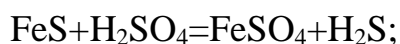
Внутрикристаллитная или дендритная ликвация – «неравномерность по составу в пределах одного дендрита. Оси дендритов формируются в первую очередь и содержат больше тугоплавких компонентов и меньше легкоплавких примесей, чем междендритные участки. Степень ликвации в пределах каждого дендрита, например, стали или чугуна, тем выше, чем больше содержание углерода, серы, фосфора и других элементов. Имеет место также межкристаллитная ликвация - неравномерность по составу на границе между дендритами. Длительное пребывание расплавленного металла при высоких температурах способствует выравниванию химического состава и уменьшению степени ликвации. Неравномерность по составу выявляется травлением в виде дендритной структуры» [2].

Зональная ликвация – «неравномерность по составу между отдельными зонами кристаллизации слитка. Вначале образуются кристаллы относительно чистые от примесей. Они вытесняют в центральную часть слитка наиболее легкоплавкую жидкую фазу, богатую примесями серы, фосфора и легирующими элементами. Центральная часть слитка, кристаллизующаяся последней, содержит повышенное количество примесей».

В железоуглеродистых сплавах сильно ликвируют сера и фосфор. Сера, образуя сульфид FeS , входит в состав легкоплавкой эвтектики, плавящейся при $985^{\circ}C$.

Зональную ликвацию сульфидных включений можно выявить, если сделать сернистый отпечаток на фотобумаге по методу Баумана. Для этого засвеченную фотобумагу смачивают 5%-ным раствором H_2SO_4 , слегка

подсушивают и прижимают к ней исследуемый образец шлифованной поверхностью, выдерживая в течение 2-3 минут, затем фотобумагу снимают, промывают в воде, закрепляют в 10%-ном растворе гипосульфита в течение 5-12 минут и снова промывают в воде. Сущность метода состоит в том, что на тех участках поверхности металла, в которых имеются скопления сернистых соединений FeS и MnS, при взаимодействии с серной кислотой выделяется сероводород, который соединяется с бромистым серебром фотобумаги и образует сернистое серебро темного цвета:



Образующиеся на фотобумаге темные участки указывают на характер и форму распределения включений сульфидов в железоуглеродистом сплаве (рис.4).

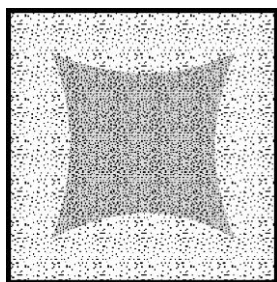


Рисунок 4 – Опечаток по методу Баумана, снятый с микрошлифа поперечного разреза слитка

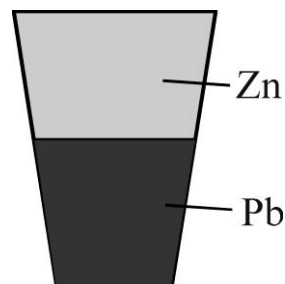


Рисунок 5 – Схема макроструктуры слитка сплава системы Pb-Zn с ликвацией по удельному весу

3 Ликвация по удельному весу наблюдается в том случае, когда компоненты, составляющие сплав, и образующиеся фазы имеют большую разницу в удельных весах, например, в сплавах Pb-Zn, Cu-Pb. Фаза с большим удельным весом оседает на дно, а более легкая всплывает на поверхность (рис.3). Для устранения ликвации по удельному весу сплав должен быть тщательно перемешан и быстро закристаллизован.

2.2 Макроструктура горячедеформированных металлов

В процессе горячей обработки слитка давлением (прокатка, ковка) меняется его макроструктура: дендриты и пластичные включения (сульфиды, силикаты) вытягиваются в направлении течения металла. Вытянутые дендритные оси и междендритные участки объема образуют совокупность параллельных волокон. Образованные таким образом волокна ясно видны на протравленном макрошлифе (рис.6).

Механические свойства горячедеформированного металла, особенно

ударная вязкость, различны в разных направлениях. Если нагружение деталей производится вдоль волокон, то ударная вязкость резко снижается. Обычно стремятся получить такое расположение волокон, чтобы волокна следовали конфигурации изделия и не пересекались.

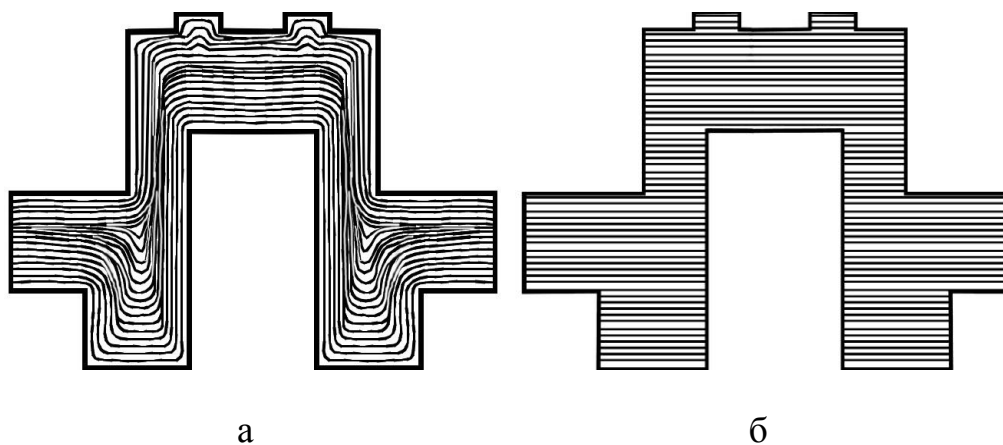


Рисунок 6 – Схема макроструктуры поковок коленчатого вала с правильным (а) и неправильным (б) расположением волокон в стали

2.3 Макроструктура детали после местной закалки

Часто одна и та же деталь должна иметь различную структуру и свойства по сечению, например, поверхностный слой толщиной 2-4 мм Должен быть закален для получения высокой твердости и прочности, а сердцевина - остаться мягкой. Такая закалка называется местной. С помощью макроструктурного анализа можно определить глубину закаленного слоя.

Для этого достаточно отшлифовать поверхность разреза детали и протравить 10%-ным раствором азотной кислоты в воде до проявления закаленной зоны, которая окрашивается в более темный цвет (рис.7). Это связано с наличием в зоне закалки более дисперсной структуры и, как следствие, - с большей поверхностью границ фаз.

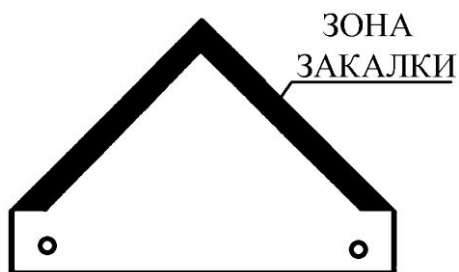


Рисунок 7 – Схема макроструктуры детали после местной закалки

2.4 Макроструктура изломов

Металлы имеют зернистое строение, которое хорошо видно в изломах. По

виду излома можно определить характер разрушения, в чугунах - вид чугуна, в термически обработанных сталях - приблизительно температуру нагрева при термической обработке, глубину закаленного и цементированного слоя и др.

Волокнистый излом соответствует вязкому разрушению, а кристаллический излом - хрупкому разрушению.

Белый чугун имеет светло-серебристый хрупкий излом, обусловленный наличием в структуре большого количества карбида железа - цементита; серый чугун - мелкокристаллический излом серого цвета; ковкий чугун с ферритной металлической основой - мелкокристаллический черный бархатный излом, а ковкий чугун с основой пластинчатого перлита - среднекристаллический блестящий излом; литейный доменный чугун - мелкокристаллический светлый излом.

Инструментальная сталь У10, закаленная от оптимальной температуры 760-780⁰С, имеет очень мелкокристаллический матовый фарфоровидный излом.

Перегретая сталь, закаленная от температур 950⁰С и выше, обладает крупнокристаллическим изломом. *Перегрев* – «исправимый брак, заключающийся в росте зерен, которые можно измельчить правильной повторной термической обработкой».

Пережженная сталь имеет грубокристаллический излом темного цвета. При нагреве до температур начала плавления (1400⁰С) границы зерен окисляются на всю глубину детали. Наличие на поверхности излома цветов побежалости или окалины свидетельствует о неисправимом браке - *пережоге*.

Многие детали, от которых требуется иметь высокую твердость только поверхностного слоя и вязкую незакаленную сердцевину, подвергаются поверхностной закалке. Глубину закаленного слоя можно определить по излому. Закаленный слой имеет фарфоровидный матовый излом, а сердцевина - кристаллический излом более светлого цвета (например, напильник).

2.5 Макроструктура сварных соединений

Для макроструктурного анализа сварного соединения разрез делают так, чтобы исследуемая поверхность включала в себя полное сечение сварного шва, зону термического влияния и основной металл, не изменивший свое строение под действием тепла при сварке. После шлифовки и соответствующего травления четко выявляются границы между основным и наплавленным металлом, а также зоной термического влияния.

При сварке всегда имеет место нагрев окружающего шов основного металла, в результате чего образуется зона термического влияния, состоящая из слоя перегретого металла с крупнозернистым строением, за которым идет тонкий слой с мелкозернистым строением, а потом - основной металл. Поскольку крупнозернистая структура имеет пониженную пластичность и ударную вязкость, то после сварки часто производят отжиг для измельчения зерна.

Анализ макрошлифа позволяет выявить процесс кристаллизации сварного шва, глубину и форму провара, зону термического влияния, а также возможные дефекты сварки в виде непроваров, макротрещин, пор, шлаковых включений и

др.

3 Порядок выполнения работы

1. Изучить методику проведения макроструктурного анализа металлов.
2. Ознакомиться с макроструктурой слитков, горячедеформированных металлов, деталей после термообработки, изломов.
3. Изобразите схемы макроструктур стального слитка, слитка с ликвацией по удельному весу; схемы макроструктур горячедеформированной детали с правильным и неправильным расположением волокон, схемы макроструктур детали после местной закалки.
4. Изучите макроструктуру изломов различных металлических материалов и сварных соединений.
5. Составьте отчет о проделанной работе.

4 Содержание отчета

1. Цель работы;
2. Определение макроструктуры, методические приемы макроструктурного анализа металлов:
 - Схема макроструктуры стального слитка с описанием основных зон кристаллизации, причины образования усадочной раковины, рыхлости и газовых пузырей при кристаллизации;
 - Определение всех видов ликвации, схема темплета с ликвацией по удельному весу;
 - Причина волокнистого строения горячедеформированного металла,
 - Схема макроструктуры горячедеформированной детали с правильным и неправильным расположением волокон;
 - Способ выявления зоны местной закалки, схема макроструктуры детали после местной закалки;
 - Описание макроструктуры изломов различных металлических материалов и сварных соединений.
3. Протокол порядка выполнения работы;
4. Сделать выводы о проделанной работе.

5 Контрольные вопросы

1. В чем заключается метод Баумана? Каким способом выявляется ликвация фосфора в железоуглеродистых сплавах?
2. Как должны располагаться волокна в готовой детали при горячей обработке давлением сталей?
3. Какой излом имеет перегретая сталь, закаленная от температур 950°C и выше?
4. Причины образования в слитке усадочных раковин, рыхлостей и газовых пузырей?
5. Какие виды ликвации существуют?

- 6 Какую структуру имеет сварное соединение?
7. Что такое макроструктура?
8. Что такое макрорельеф?
9. Что можно выявить по излому металла?

6 Список рекомендуемых источников

1. Гуляев А.П. Металловедение./ М.: Металлургия, 2015.- 544С., С.142-160.
2. Акулов В. М Методические указания для выполнения лабораторных работ по курсу «Технология конструкционных материалов»/ Кустанай, 1989
3. Адаскин А.М., Зуев В.М. Материаловедение (металлообработка)/ 2-е изд , М,; Издательский центр «Академия»,2003.
- 4.Борисов В.И. Лабораторией практикум по металловедению и термической обработке /М., «Высшая школа», 2012.
5. Бородулин В.Н., Воробьев А.С и др.; Под.ред Филикова В А. Электротехнические и конструкционные материалы. /М,, Мастерство. Высшая школа, 2001
6. Некрасов С.С. Практикум по технологии конструкционных материалов / М . «Колос», 1978.

Лабораторная работа №3

Тема: Микроструктурный анализ металлов

Цель работы: изучение методики проведения, приемов микроструктурного анализа металлов.

1 Теоретические сведения

Микроструктура – «строение металла, выявляемое с помощью микроскопа» [2]. Для проведения микроструктурного анализа подготавливается поверхность металла - микрошлиф.

Рассмотрение микроструктуры производят в потоке лучей, отраженных от поверхности микрошлифа. Чем больше лучей отражает участок поверхности, тем светлее он выглядит (рис.8). Границы между зернами (после травления) рассеивают лучи, поэтому они видны в виде темных линий. Если отдельные структурные составляющие отличаются по цвету, то их окраска видна в потоке отраженных лучей.

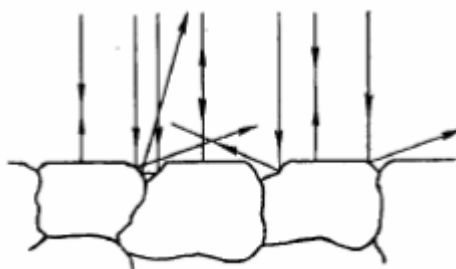


Рисунок 8 - Схема отражения световых лучей от поверхности микрошлифа

В 1831 году русский ученый П.П. Аносов впервые применил микроскоп для исследования металлов.

2 Методика проведения микроструктурного анализа металлов

2.1 Методика изготовления микрошлифа

Процесс приготовления микрошлифа включает операции вырезки образца и подготовки его поверхности - шлифование, полирование, травление. В некоторых случаях, например при изучении неметаллических включений в сталях, под микроскопом исследуют поверхность микрошлифа в нетравленном состоянии.

Площадь поверхности образца, используемого для приготовления микрошлифа, обычно составляет 1-4 см, а его высота определяется удобствами манипулирования при шлифовании и полировании и равна 10-15 см. Вырезку образцов следует проводить так, чтобы не вызвать изменения структуры из-за

нагрева или наклепа. Для вырезки образцов используют отрезные станки с абразивными кругами и охлаждающую жидкость.

Получить плоскую поверхность, необходимую для шлифа, можно также путем токарной обработки, фрезерования, шлифования или опилования. Образцы небольших размеров или сложной конфигурации помещают в пластмассы или легкоплавкие сплавы, используя заливку или запрессовку в цилиндрические обоймы. Во многих отношениях удобен, прост и производителен метод холодной заделки образцов с помощью эпоксидных, полиэфирных и акриловых смол. Образцы устанавливают в металлические, пластмассовые или стеклянные кольца и заливают смесью смолы с отвердителем. Наиболее часто для холодной заделки шлифов применяют эпоксидные смолы, которые обладают достаточной твердостью, наименьшей объемной усадкой при отверждении и хорошо соединяются с большинством металлов.

При изготовлении шлифов из тонкого листового материала применяют также зажимы (струбцины) в виде двух стальных пластин толщиной 4-6 мм, которые стягиваются болтами. В зажиме можно монтировать сразу пакет из нескольких образцов.

Шлифование плоской поверхности образца производят бумажной шлифовальной шкуркой вручную или на шлифовальных станках (табл.2).

Таблица 2 - Характеристика зернистости бумажной шлифовальной шкурки[4]

Номер шлифовальной шкурки (ГОСТ 6436-75)	25	16	12	10	8	6	5	4	M40
Размер абразивных частиц, мкм (ГОСТ 3647-80)	320-200	200-160	160-120	120-100	100-80	80-63	63-50	50-40	40-28

При ручном шлифовании шкурку помещают на плоское твердое основание (обычно толстое стекло). Образец прижимают шлифуемой поверхностью к шкурке и ритмично перемещают вперед по прямой линии. При механическом шлифовании шкурку закрепляют на вращающемся круге с помощью зажимных колец или клеевого покрытия на обратной стороне шкурки, а образец прижимают к шкурке вручную или устанавливают в зажимное приспособление станка. При этом также образец не вращают. В результате этого как при ручном, так и при механическом шлифовании образуется ряд параллельных рисок, глубина которых соответствует размеру абразивных частиц.

Шлифование проводят, используя шкурку нескольких номеров с последовательно уменьшающейся зернистостью (предварительное грубое - на первых пяти номерах, а окончательное чистовое - на номерах 5-M40), причем во время шлифования следует сохранять одно и то же положение образца, чтобы все риски на его поверхности были параллельны. При переходе к шлифованию шкуркой следующего номера направление шлифования изменяют на 90° и проводят его до полного удаления всех рисок, образовавшихся во время

предыдущей операции. Для оценки качества шлифования можно исследовать поверхность образца при переходе от одной ступени к другой под микроскопом. После каждой ступени шлифования поверхность должна быть покрыта равномерными по величине и отчетливо видимыми царапинами, никаких следов царапин от предыдущего шлифования наблюдаться не должно.

После каждой ступени шлифования поверхность образца следует тщательно очищать во избежание переноса сравнительно крупных частиц абразива на более мелкозернистый абразивный материал и на используемый в дальнейшем полировальный материал. Поэтому с целью удаления абразивных частиц после окончания каждой ступени шлифования образец промывается водой.

Полирование производится для удаления мелких рисок, оставшихся после шлифования, и получения гладкой, зеркальной поверхности микрошлифа. С этой целью применяют механический, электрохимический и химико-механические методы полирования.

Широко распространенное механическое полирование производят на вращающемся диске с натянутым полировальным материалом (мягкое сукно, фетр, драп или специальная ткань). В качестве абразивного вещества обычно применяется паста ГОИ, состоящая из оксида хрома со стеарином, олеиновой кислотой, содой и керосином, или водные суспензии очень мелких оксидов хрома, алюминия, железа или других металлов. При этом полировальный круг должен быть влажным, а нажатие на образец слабым.

Полирование осуществляют вручную или на автоматических станках. При ручном полировании образец непрерывно перемещают от центра к периферии круга, что обеспечивает равномерное распределение абразивного вещества и однородный износ полировального материала. Кроме того, образец периодически вращают или перемещают "восьмеркой", чтобы исключить образование "хвостов" около неметаллических включений и частиц выделившихся фаз.

Полирование считается законченным, когда поверхность образца приобретает зеркальный блеск и на поверхности микрошлифа под микроскопом не просматриваются риски и царапины. Полированный образец очищают от остатков абразива промыванием поверхности микрошлифа водой, затем протирают спиртом для удаления влаги, после чего просушивают фильтровальной бумагой.

Для выявления структуры полированного микрошлифа производится травление - химический вид обработки поверхности, заключающийся во взаимодействии электролитов (растворов кислот и солей, расплавы щелочей) с металлами. При этом на поверхности микрошлифа образуется рельеф, и при наблюдении под микроскопом сильно растворившиеся участки в связи с рассеиванием световых лучей представляются более темными, а нерастворившиеся ввиду более полного отражения световых лучей в объектив микроскопа - более светлыми. Так, например, перлит, состоящий из феррита и цементита, имеет более темный цвет, чем однородные зерна феррита.

Травление осуществляют погружением полированной поверхности шлифа

в реактив или нанесением реактива на поверхность ваткой, пипеткой и т.д. Травление считается законченным, когда полированная поверхность станет слегка матовой. Затем быстро смывают реактив с поверхности шлифа водой, просушивают фильтровальной бумагой, протирают спиртом для удаления влаги и вновь просушивают фильтровальной бумагой.

Для выявления структуры полированного микрошлифа травление производится реактивами, различающимися по своему воздействию на разные структурные составляющие. Наиболее широко применяемые в металлографии реактивы, вызывающие избирательное растворение металлических или других фаз, а также их пограничных участков вследствие различия физических и химических свойств, приведены в табл.3.

Таблица 3 - Реактивы для химического травления микрошлифов[5]

Наименование реактива	Состав реактива	Назначение
Спиртовой раствор азотной кислоты (реактив Ржешотарского)	1-5, обычно 4 мл азотной кислоты, 100мл этилового или метилового спирта	Травление стали и чугуна
Спиртовой раствор пикриновой кислоты (реактив Ижевского)	3-5, обычно 4 г пикриновой кислоты (кристаллической), 100 мл этилового или метилового спирта	То же
«Царская водка»	Соляная и азотная кислота в соотношении 3:1	Травление нержавеющей сталей
Солянокислый раствор хлорного железа	5 г хлорного железа, 50 мл соляной кислоты, 100 мл воды	Травление меди, латуни, бронзы

2.2 Принцип действия и устройство металлографического микроскопа

Металлографический микроскоп – «прибор для наблюдения и фотографирования структуры непрозрачных объектов в отраженном свете. Микроскоп представляет собой комбинацию двух увеличивающих систем: объектива и окуляра.

Металлографический микроскоп состоит из осветительной, механической и оптической систем (рис.8).

К осветительной системе относятся: источник света – лампа накаливания 1, набор линз, светофильтров и диафрагм. Набор линз введен в осветительную систему для уменьшения рассеивания световых лучей и повышения четкости изображения. Диафрагмы ограничивают сечение светового луча и позволяют регулировать интенсивность освещения.

Набор светофильтров в виде цветных и матовых стеклянных пластинок позволяет отфильтровать лучи требуемой длины волны, уменьшить хроматическую аберрацию и повышать четкость изображения. Кроме того, при работе на микроскопе следует учитывать, что глаза человека обладают повышенной чувствительностью к желто-зеленым цветам.

Механическая система состоит из корпуса 2, предметного столика 3, на который устанавливается микрошлиф, и визуального тубуса 4. Для наблюдения

различных участков поверхности микрошлифа предметный столик можно перемещать в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях винтами 5. Предметный столик с микрошлифом может перемещаться в вертикальном направлении для предварительного наведения на фокус макрометрическим винтом 6, а для точной фокусировки - микрометрическим винтом 7 рис.8.

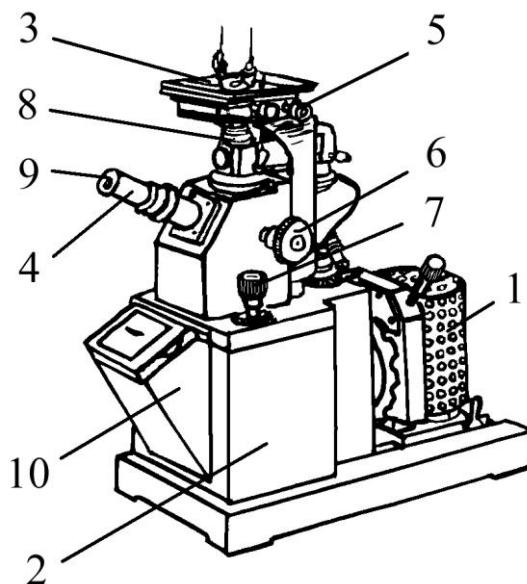


Рисунок 8 – Общий вид микроскопа МИМ-7

Оптическая система является основной системой микроскопа. Она состоит из системы вмонтированных в корпус 2 призм и зеркал, обеспечивающих определенное направление лучей в микроскопе, сменных объективов 8 и окуляров 9 для визуального наблюдения и фотографирования структуры, прилагаемых в комплекте к микроскопу; фотокамеры 10.

Набор сменных объективов и окуляров позволяет менять увеличение микроскопа, которое определяется произведением увеличения объектива на увеличение окуляра (табл.4).

Таблица 4 - Характеристика объективов и окуляров микроскопа МИМ-7

Объективы		Окуляры						
		На матовом стекле			При визуальном наблюдении			
		7 ^x	10 ^x	15 ^x	7 ^x	10 ^x	15 ^x	20 ^x
F=23,2	A=0,17	(70)	120	160	(60)	90	130	170
F=13,9	A=0,30	(115)	200	270	(100)	140	200	300
F= 8,2	A=0,37	200	340	450	170	240	360	500
F= 6,2	A=0,65	(260)	440	600	(250)	320	500	(650)
F= 2,8	A=1,25	575	1000	1350	500	720	1080	(1440)
F= 2,8	A=1,0*	575	1000	(1350)	500	720	1080	(1440)

Примечания:

1. Заключенные в скобки объективы применять не рекомендуется.
2. Объектив, отмеченный *, используется только для светлого поля.

Основным элементом оптической системы является объектив, дающий действительное увеличенное обратное изображение рассматриваемой структуры. Окуляр лишь увеличивает изображение, получаемое объективом. При этом с помощью окуляра получается мнимое увеличенное прямое изображение структуры, выявленное объективом.

Объектив состоит из фронтальной плосковыпуклой линзы, дающей увеличение, и ряда коррекционных линз, предназначенных для уменьшения хроматической и сферической аберраций, возникающих при прохождении лучей через фронтальную линзу.

Хроматическая аберрация вызывается неодинаковым преломлением линзой лучей различного цвета, в результате чего луч белого света разлагается линзой на монохроматические лучи, которые не фокусируются в одной точке. В объективе для уменьшения хроматической аберрации белого света устанавливаются коррекционные линзы из специальных материалов, например, плавикового шпата (флюорита). Хроматическую аберрацию можно полностью устранить только применением монохроматического света.

Причина сферической аберрации заключается в том, что лучи, преломляемые краем линзы и ее центральной частью, не сходятся в одной точке, и изображение получается нерезким. Для уменьшения сферической аберрации объектив собирается из выпуклой и вогнутой линз, имеющих одинаковую, но различно направленную аберрацию.

В объективах, дающих большое увеличение, фронтальная линза имеет полушаровую форму, и сферическую аберрацию удается избежать путем помещения шлифа в апланатический фокус, т.е. в особую точку на оптической оси объектива. Такие объективы называются апланатами.

Все объективы в отношении оптических свойств делятся на ахроматы и апохроматы. Апохроматы более сложны, чем ахроматы, но зато дефекты изображения от аберраций у них сведены до минимума. Апохроматы одновременно являются апланатами. Из-за своей конструкции они дают не плоское, а несколько искривленное изображение, вследствие чего не представляется возможным получить одинаковую резкость в центре и по краям изображения. Поэтому при работе с апохроматами применяют компенсационные окуляры, исправляющие этот недостаток объектива.

В то же время объективы бывают сухие и иммерсионные. Объектив считается иммерсионным, когда между ним и микрошлифом находится слой жидкости, увеличивающий коэффициент преломления лучей (при использовании кедрового масла коэффициент равен 1,51).

Окуляры, прилагаемые к микроскопу, делятся на простые (Гюйгенса), компенсационные и проекционные. Простые окуляры применяются в сочетании с ахроматическими объективами, компенсационные с апохроматическими, а проекционные - при фотографировании.

Объективы обычно имеют увеличение от 9 до 95 раз, простые окуляры - от

3 до 15, а компенсационные - до 20 раз.

При работе на микроскопе микрошлиф помещают на предметный столик перед объективом, затем макро- и микрометрическими винтами перемещают в вертикальном направлении так, чтобы он находился немного дальше фокуса объектива. При этом последний дает увеличенное действительное изображение структуры, которое с помощью специальной линзы переносится в плоскость, близкую к фокусу окуляра. Он, действуя на луч, дает окончательное (увеличенное и мнимое) изображение структуры.

Разрешающая способность микроскопа и его полезное увеличение имеют важное значение в микроструктурном анализе металлов. Разрешающая способность определяет минимальные детали структуры, которые можно увидеть с помощью микроскопа. Она характеризуется минимальным расстоянием d между двумя соседними деталями структуры, которые еще могут быть различимы раздельно, не сливаясь. Разрешающая способность оптического микроскопа определяется дифракционными явлениями и при прямом освещении в отраженном свете соответствует условию 1:

$$d = \lambda / 2n \cdot \sin \alpha = \lambda / 2A, \quad (1)$$

где λ - длина волны белого света, равная 0,55 мкм; n - показатель преломления между объективом и микрошлифом (для воздуха $n=1$, для кедрового масла $n=1,51$);

α - угловая апертура объектива, равная половине угла, под которым виден зрачок объектива из точки микрошлифа, лежащей на оптической оси ($\alpha_{\max}=72^\circ$, $\sin \alpha_{\max}=0,95$);

A - числовая апертура, равная $n \cdot \sin \alpha$.

При использовании иммерсионного объектива (рис.9) световые лучи, отразившись от поверхности микрошлифа под углом α , преломляются в кедровом масле и входят в объектив под значительно меньшим углом φ . Поэтому, чем больше n и α , тем выше разрешающая способность микроскопа.

Максимальная разрешающая способность микроскопа (при использовании иммерсионного объектива) может составить

$$d=0,55/2 \cdot 1,51 \cdot 0,95 \approx 0,2 \text{ мкм.}$$

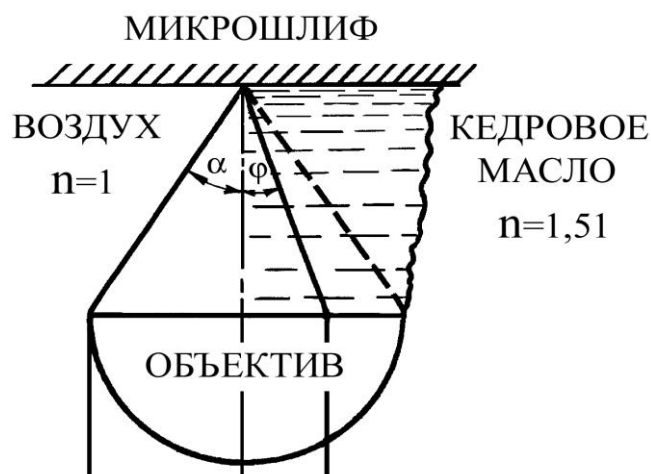


Рисунок 9 - Влияние коэффициента преломления среды на ход световых лучей в сухом и иммерсионном объективе

Поскольку разрешающая способность человеческого глаза d_1 составляет 0,3 мм, т.е. две точки видны для глаза раздельно, если расстояние между ними 0,3 мм = 300 мкм, тогда максимальное полезное увеличение, при котором полностью реализуется его разрешающая способность, равно $M=d_1/d=300/0,2=1500$. В соответствии с этим металлографические микроскопы имеют максимальное увеличение при визуальном наблюдении не более 1500 раз.

При исследовании структуры металла объектив выбирают, исходя из необходимого полезного увеличения микроскопа, определяемого из выражения $M=300/d'$, где d' - минимальный размер интересующих деталей структуры в мкм. Зная M , можно по табл. 4 определить соответствующую числовую апертуру и выбрать объектив и окуляр.

В практике металлографических исследований иногда приходится в ущерб разрешающей способности повышать контрастность изображения и увеличивать глубину резкости, характеризуемую величиной вертикального смещения деталей микроструктуры, что не приводит к потери фокусировки; при более рельефной поверхности микрошлифа целесообразно использовать объективы с малой апертурой. Контрастность изображения растет до тех пор, пока общее увеличение микроскопа не превысит полезного увеличения. Поэтому увеличение окуляра не должно быть очень высоким, так как это вызовет различное изображение деталей структуры.

С помощью металлографического микроскопа может быть выполнен как качественный, так и количественный микроструктурный анализ, например, измерение величины зерна, размера включений графита в чугуне, глубины цементированного слоя и др.

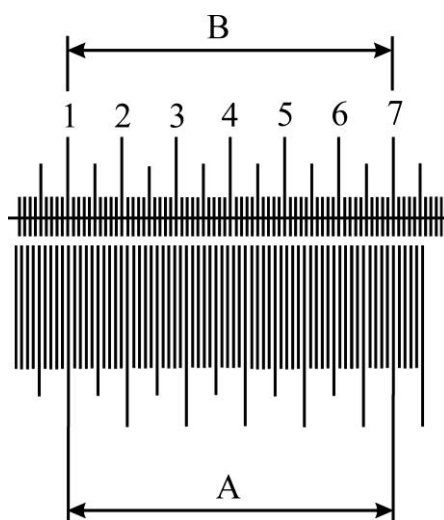


Рисунок 10 – Совмещение шкалы объект-микрометра (А) и окуляр-микрометра (В)

Измерение деталей изучаемой структуры осуществляется с помощью окуляр-микрометра - окуляра, в который вставлено стекло с нанесенной шкалой. Цена деления окуляр-микрометра определяется увеличением микроскопа (произведением увеличений объектива и окуляра), для точного определения которого в качестве объекта используется специальная пластинка с микрометрической шкалой (объект-микрометр), на которой нанесены через каждые 0,01 мм деления на общей длине 1 мм (рис.10).

Для определения цены деления окуляр-микрометра на предметный столик вместо микрошлифа устанавливается объект-микрометр и после наведения на фокус происходит совмещение шкал обоих микрометров.

Цена деления окуляр-микрометра (2) равна:

$$Ц_{ОК} = Ц_{ОБ} \cdot A / B; \quad (2)$$

где $Ц_{ОБ}$ - цена деления объект-микрометра, равная 0,01 мм;

A и B -соответственно число совмещенных делений объект-микрометра и окуляр-микрометра».

Определив деление окуляра-микрометра, можно измерять любой элемент структуры исследуемого шлифа, размещенный на предметном столике вместо предмета-микрометра.

2.3 Микроструктурный анализ ковкого феррито-перлитного чугуна

Одним из объектов микроструктурного анализа в работе является ковкий ферритоперлитный чугун, состоящий из металлической основы в виде зерен перлита и феррита, и включений графита. В нетравленном состоянии (рис.5, а) под микроскопом можно наблюдать светлое поле металлической основы ковкого чугуна и темные (черные) хлопьевидной формы графитные включения. Кроме того, на светлом поле металлической основы можно увидеть трещины,

раковины, твердые и мягкие (со следами от них на поле металлической основы) неметаллические включения. После травления выявляется структура металлической основы. При наблюдении в микроскоп просматриваются темные (черные) графитные включения, светлые зерна феррита и темные (серые) зерна перлита (рис.11, б).

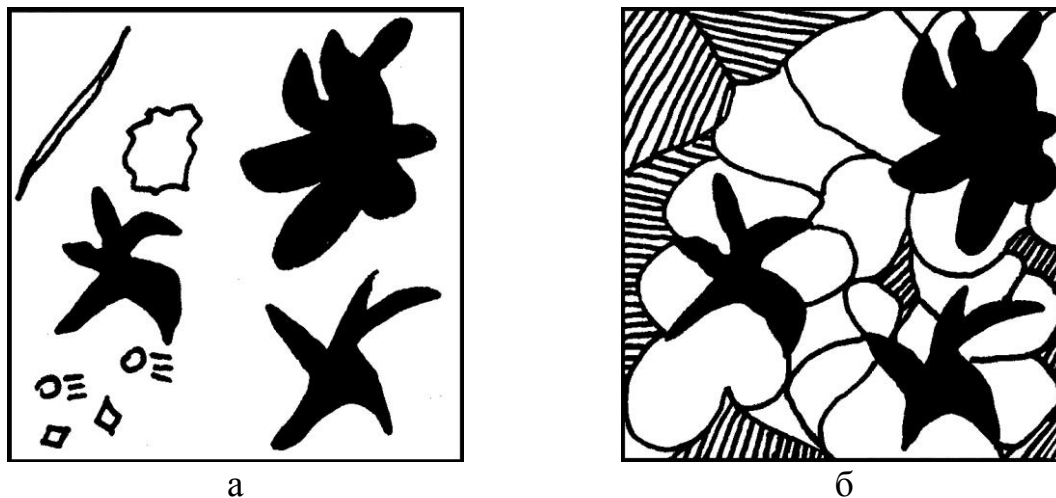


Рисунок 11 – Схема микроструктуры ковкого ферритоперлитного чугуна в нетравленном состоянии (а, металлическая основа и графит) и после травления 4% спиртовым раствором HNO_3 (б, перлит, феррит и графит) $\times 250$

При больших увеличениях микроскопа выявляется двухфазное строение перлита в виде светлых пластин феррита и цементита, которое и следует изображать на схемах микроструктур. Наблюдаемая картина строения ковкого чугуна обусловлена характером отражения световых лучей от различных участков структуры микрошлифа.

3 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой проведения микроструктурного анализа металлов.
2. Ознакомиться с альбомом микроструктур металлических материалов.
3. Подготовьте микрошлиф образца ковкого ферритоперлитного чугуна.
4. Подготовьте микрошлиф образца доэвтектоидной стали.
5. Изобразите схему структуры ковкого ферритоперлитного чугуна в нетравленном состоянии и после травления реактивом Ржешотарского.
6. Изобразите схему структуры доэвтектоидной стали в нетравленном состоянии и после травления реактивом Ржешотарского
6. Составьте отчет о выполненной работе.

4 Содержание отчета

Задание. Изготовить микрошлиф образцов, изобразить схему до травления

и после травления химическими реагентами.

1. Описание устройства металлографического микроскопа, возможностей микроструктурного анализа, определение технических характеристик.

2. Методика изготовления микрошлифа. Методика травления микрошлифа.

3. Схема микроструктуры ковкого ферритоперлитного чугуна в нетравленном состоянии, его микроструктурный анализ.

4. Схема микроструктуры доэвтектоидной стали до травления после травления реактивом Ржешотарского, ее микроструктурный анализ.

5 Контрольные вопросы

1. С какой целью производится травление поверхности микрошлифа?

2. Что наблюдается в микроскопе при рассмотрении микрошлифа в нетравленном состоянии?

3. Как измерить величину элемента структуры?

4. Какое изображение получается с помощью объектива и окуляра?

5. Какова методика травления микрошлифа?

6. Что такое микроструктура?

7. Расскажите о методике приготовления микрошлифа.

8. Что такое разрешающая способность микроскопа?

9. Объясните принцип поведения микроструктуры в потоке лучей.

10. Что наблюдается в микроскопе при рассмотрении микрошлифа после травления?

6 Список рекомендуемых источников

1. Гуляев А.П. Металловедение. / М.: Металлургия, 2015.- 544С., С.142-160.

2. Акулов В. М Методические указания для выполнения лабораторных работ по курсу «Технология конструкционных материалов»/ Кустанай, 1989

3. Адаскин А. М.. Зуев В.М. Материаловедение (металлообработка)/ 2-е изд , М.,; Издательский центр «Академия»,2003.

4.Борисов В.И. Лабораторией практикум по металловедению и термической обработке /М., «Высшая школа», 2012.

6. Некрасов С.С. Практикум по технологии конструкционных материалов / М . «Колос», 1978.

7. Лаборатория металлографии. / Е.В. Панченко, Ю.А. Скаков, Б.И. Кример и др.- М.: Металлургия, 1965. 439 С., С.11-171.

8. Металловедение и термическая обработка стали. В 3-х т, Т.1. Методы испытания и исследования / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г.- М.: Металлургия,1983. 352 С., С.17-47.

Лабораторная работа № 4

Тема: Изучение методов и оборудования для определения твердости металлов

Цель работы: ознакомиться с устройством приборов Бринелля и Роквелла и овладеть методикой определения твердости металлов.

1. Теоретические сведения

Твердость – «свойство металла оказывать сопротивление проникновению в него другого более твердого тела, не получающего при этом остаточной деформации» [3].

Наибольшее применение получили методы определения твердости твердомерами ТШ (прибор Бринелля), ТК (прибор Роквелла), ТП (прибор Виккерса).

Метод Бринелля. Прибор Бринелля, или твердомер шариковый ТШ, предложенный в 1900 г. шведским ученым Бринеллем, предназначен для определения твердости вдавливанием стального шарика определенного диаметра D мм (рис. 12) в испытуемый образец (под действием заданной нагрузки P) за определенное время, и по величине диаметра шарового отпечатка d (по глубине h) судят о твердости испытываемого образца.

Твердость по Бринеллю (НВ) определяется из выражения:

$$HB = \frac{P}{F} \quad (3)$$

где: P – нагрузка, кН (кгс);

F - площадь поверхности шарового отпечатка, $мм^2$.

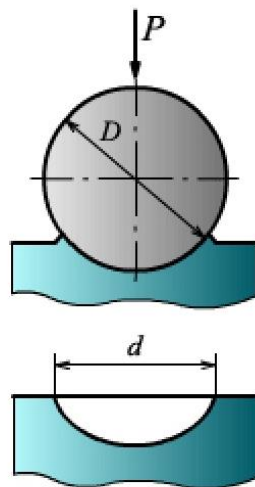


Рисунок 12 – Схема измерения твердости по Бринеллю.

Выразив площадь поверхности отпечатка через диаметр шарика и диаметр отпечатка, получаем формулу:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4)$$

Нагрузка P , диаметр шарика и продолжительность выдержки шарика под нагрузкой выбираются по специальным таблицам в зависимости от предполагаемой твердости и толщины образца.

Прибор имеет станину 1. Испытуемый образец устанавливают на предметный столик 4, вращая маховик 3, винтом 2 поднимают образец до соприкосновения его с шариком 5, и до полного сжатия пружины 6. Пружина 6 создает предварительную нагрузку на шарик, равную 1 кН (100 кгс). Предварительная нагрузка обеспечивает надёжную фиксацию образца во время нагружения. Затем включается электродвигатель 13 и через червячную передачу редуктора, шатун 11 и систему рычагов 8,9 с грузами 10 создают заданную полную нагрузку на шарик.

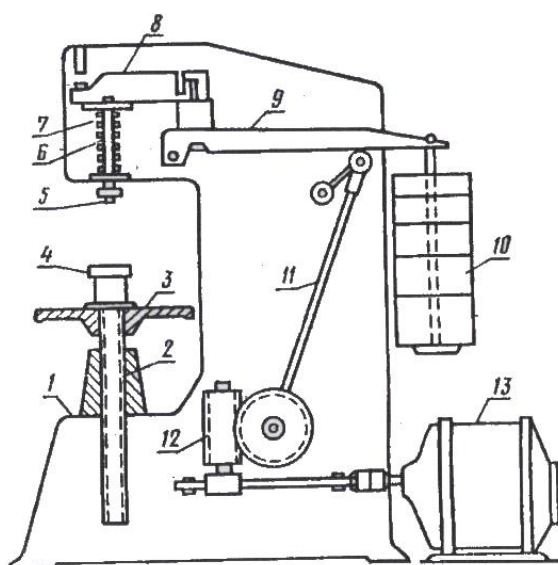


Рисунок 13 – Схема рычажного прибора Бринелля (ТШ)

На образце после нагрузки остается отпечаток, диаметр которого определяется специальной измерительной лупой. За расчетный диаметр отпечатка принимают среднее арифметическое значение измерений в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Значение твердости находят по таблице 5 или вычисляют по формуле (2) и записывают, например HB 302.

Недостатки метода Бринелля:

- а) ограниченная твердость для замера (не более HB 450);
- б) при больших значениях твердости возможна деформация шарика.
- в) на поверхности изделия остаются крупные следы деформации;

- г) замер деталей толщиной менее 2 мм не допустим;
- д) низкая производительность процесса замера твердости.

Таблица 5 – Определение значения твердости (метод Бринелля D = 10мм, P = 3000 кгс) [6]

Диаметр отпечатка, мм	НВ	Диаметр отпечатка, мм	НВ
5,75	105	5,70	107
5,65	109	5,60	111
5,55	114	5,50	116
5,45	118	5,40	121
5,35	123	5,30	126
5,25	128	5,20	131
5,15	134	5,10	137
5,05	140	5,00	143
4,95	146	4,90	149
4,85	152	4,80	156
4,75	159	4,70	163
4,65	167	4,60	170
4,55	174	4,50	179
4,45	183	4,40	187
4,35	192	4,30	197
4,25	201	4,20	207
4,15	212	4,10	217
4,05	223	4,00	229
3,95	235	3,90	241
3,85	248	3,80	255
3,75	262	3,70	269
3,65	277	3,60	285
3,55	293	3,50	302
3,45	311	3,40	321
3,35	331	3,30	341
3,25	352	3,20	363
3,15	375	3,10	388
3,05	401	3,00	415
2,95	429	2,90	444

Метод Роквелла. В испытуемый образец вдавливаются алмазный конус с углом при вершине 120° или (что бывает реже) закаленный стальной шарик диаметром 1.59 мм. Конус - для твердых, а шарик для мягких изделий, металлов.

Нагрузка на конус или шарик осуществляется через систему рычагов специальными грузами - сначала предварительная P_0 (рис. 14) равной 0,1 кН (10 кгс), затем основной P_1 . Если применяется алмаз, то нагрузка устанавливается равной 0,6 кН (60 кгс) или 15 кН (150 кгс), при вдавливании шарика - 1 кН (100

кгс). Соответственно этим нагрузкам на индикаторе прибора имеются шкалы: черные А и С, а также красная В. При измерении очень твердых металлов пользуются шкалой А (детали после азотирования, цементации, твердые сплавы до $HR_A 85$). Шкала С предназначена для замера твердости закаленных деталей (твердость до $HR_C 67$). Шкалой В пользуются при измерении твердости незакаленных сталей, цветных металлов и сплавов, имеющих твердость до $HR_B 100$.

Число твердости по Роквеллу HR измеряется в условных единицах и определяется по формулам:

$$HRC = 100 - \frac{h - h_0}{0.002} \quad (5)$$

(при вдавливании алмазного конуса),

$$HRB = 130 - \frac{h - h_0}{0.002} \quad (6)$$

(при вдавливании шарика),

где: 100 - число черных делений шкалы С циферблата индикатора прибора, а 130 - число красных делений шкалы В;

h_0 - глубина внедрения алмаза (шарика), от предварительной нагрузки P_0 , мм;

h - глубина внедрения алмаза (шарика) под воздействием общей нагрузки, замеренная после снятия основной нагрузки P_1 с оставлением предварительной нагрузки P_0 ;

0,002 - глубина внедрения алмаза (шарика) мм, соответствующая перемещению стрелки индикатора на одно деление.

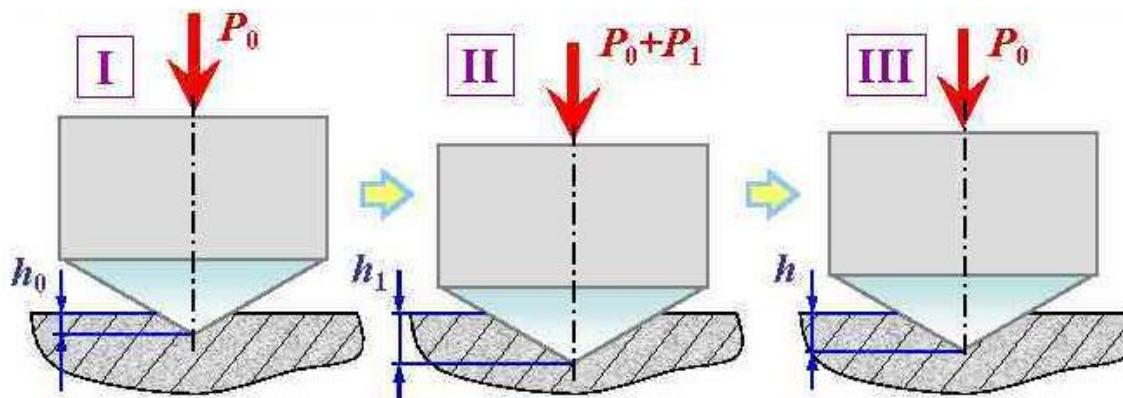


Рисунок 14 – Схема определения твердости вдавливанием алмазного конуса (на приборе Роквелла)

Последовательность замера твердости с помощью твердомера Роквелла (тип ТК) следующая. Образец, предварительно хорошо зачищенный, устанавливают на предметный столик 2 (рис. 15).

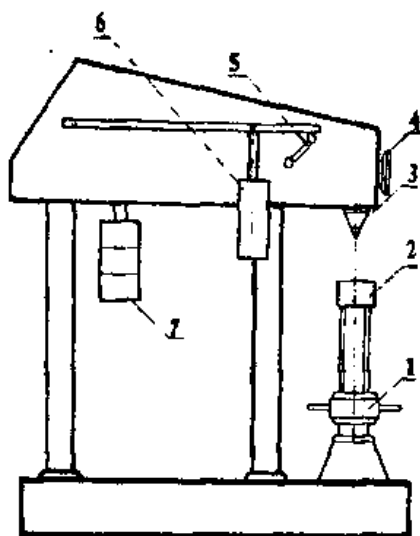


Рисунок 15 – Схема прибора Роквелла (ТК)

Вращая штурвал 1, поднимают образец до соприкосновения с алмазом (шариком) 3. После этого начинают вращаться большая и малая стрелки индикатора 4 и создается предварительная нагрузка. Эта нагрузка необходима для фиксации образца. Когда маленькая стрелка индикатора установится против риски, подъем образца следует прекратить. После этого нулевое деление шкалы С установить против конца большой стрелки. Поворотом рукоятки 5 (она может находиться и с другой стороны прибора) создают основную нагрузку P_1 на алмаз. После 3-4 секундной выдержки основная нагрузка снимается, поворотом рукоятки 5 в направлении на себя. Результат считывается со шкалы по большой стрелке индикатора. Число твердости берется как среднее арифметическое трех замеров для одного изделия.

Метод Роквелла прост и производителен, меньше портит поверхность изделия, позволяет замерять твердость в большом диапазоне. Может быть использован при измерении тонких изделий (до 0,8 мм).

Метода Виккерса. При использовании этого метода (тип ТП) твердость металла определяют путем вдавливания четырехгранной алмазной пирамиды. С помощью оптических систем замеряются диагонали отпечатка, и твердость определяется по формуле:

$$HV = 1.8544 + \frac{P}{d^2} \quad (7)$$

где: P - нагрузка на пирамиду, Н,
 d - диагональ отпечатка, мм.

В практике для определения значения твердости по диагонали отпечатка используют специальные таблицы. Метод позволяет производить замеры на очень малых площадях с достаточной точностью.

Относительно небольшие нагрузки (5 кгс и 10 кгс) и малая глубина вдавливания индентора (пирамиды) обуславливают необходимость более тщательной подготовки поверхности, чем при измерении другими методами. Образцы для замера должны быть отполированы. Для получения достоверных средних значений HV необходимо делать не менее пяти-шести замеров, причем замерять обе диагонали отпечатка.

Схема прибора представлена на рисунке (16).

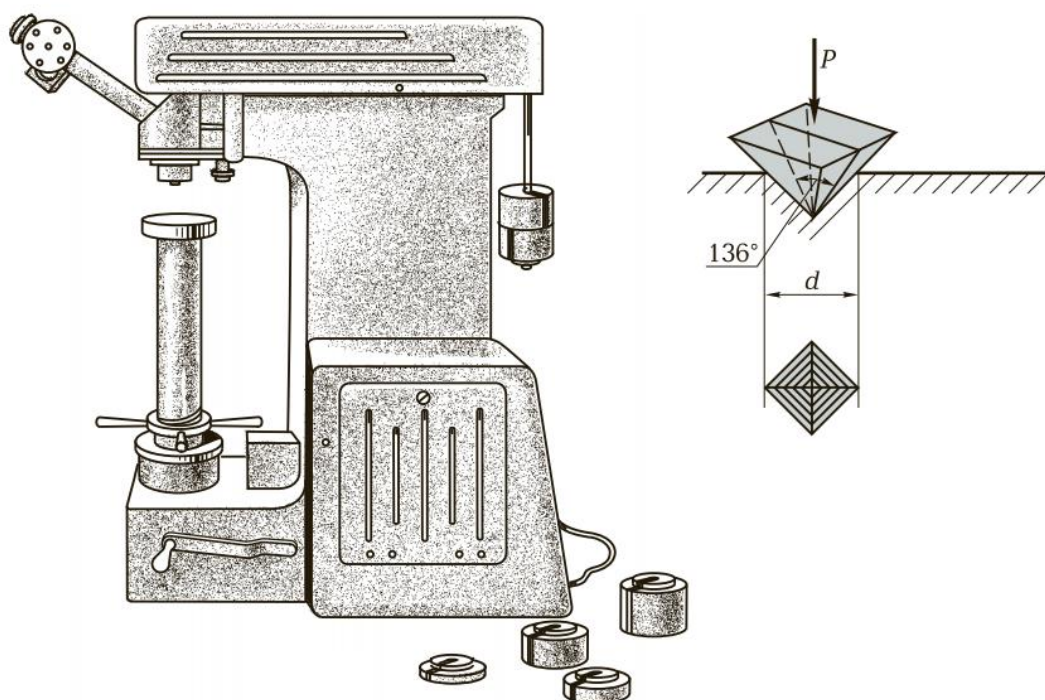


Рисунок 16 – Схема прибора Виккерса (ТП)

Прибор состоит из стакана, в котором размещена пружина, осуществляющая нагрузку. К стакану в нижней части крепится алмазная пирамида, которая приводится в рабочее положение рычагом. Сверху на стакан ставится оптическая система. По мере необходимости прибор крепится или к струбцине I или к магнитному захвату (на рисунке не показан), позволяющему устанавливать прибор на поверхности крупных деталей. Работа на приборе производится в следующем порядке:

- прибор устанавливается при помощи струбцины на рабочее место;
- при помощи предметного столика необходимо подвести деталь (образец)

II до упора с пирамидой;

- рычагом привести в действие пружину, которая, осуществит вдавливание пирамиды в испытываемый образец;

- по истечении необходимой выдержки (отсчет производит сам оператор), нагрузка снимается поворотом рычага до упора вверх;
- включить свет и вращением окуляра добиться резкого изображения шкалы и поверхности образца;
- произвести измерение диагоналей отпечатка в 2-х взаимно перпендикулярных направлениях. Микрометрическим винтом нулевой штрих шкалы подводится к левому краю отпечатка, отсчетным барабаном 6 сплошная риска подводится к левому краю отпечатка. Число целых делений шкалы, заключенных между нулевым штрихом шкалы и сплошной риской даёт число десятых долей миллиметра. Число делений барабана даёт число сотых и тысячных долей миллиметра; - по таблицам определяется число твердости. Так при нагрузке P равной 5 кг с и длине диагонали d равной 0,175 мм число по средней арифметической величине двух диагоналей по твердости $HV = 303$.

3 Порядок выполнения работы

1. Изучить и записать в отчет устройство приборов, а также методику замера твердости.
2. Произвести замер твердости методом Бринелля и Роквелла пяти образцов сталей разных по содержанию углерода (даёт преподаватель) и результаты замеров внести в таблицу 5.
3. Построить графики зависимости твердости от содержания углерода для метода Роквелла и Бринелля.
4. По результатам испытаний сделать выводы.

4 Содержание отчета

1. Теоретические сведения об устройстве приборов и методах замера твердости;
2. Таблицы результатов замера твердости;
3. Графики зависимости твердости от содержания углерода;
4. Выводы о полученных результатах.

5 Контрольные вопросы.

1. Что такое твердость металлов? Дать определение.
2. Какими методами измеряется твердость материалов?
3. В чем преимущество и недостатки метода Бринелля и Роквелла?
4. Где и как применяется метод Виккерса?
5. Почему в приборе ТК применяется и конус, и закаленный шарик?
6. Зависит ли величина твердости металла от содержания в нем углерода?

Лабораторная работа № 5

Тема: Анализ фазовых равновесий в системе Fe-C

Цель работы: изучение диаграммы состояния Fe-C и анализ фазовых состояний.

1 Теоретические сведения

В промышленности на сегодняшний день наиболее востребованными являются железоуглеродистые сплавы - стали и чугуны. Фазовые превращения этих сплавов представлены диаграммой состояния Fe-C.

Диаграмма состояния системы Fe-C дает представление о формировании этих сплавов, начиная от кристаллизации из жидкости и заканчивая процессами фазовой перекристаллизации в твердом состоянии, а также позволяет оценить структуру сталей и чугунов в равновесных условиях, определяющую многие их свойства или установить температуру нагрева при термической обработке.

Компонентами диаграммы состояния являются железо и углерод. «Поскольку углерод находится в двух аллотропических модификациях - в виде графита и алмаза, то различают две диаграммы состояния: железо-графит и железо-алмаз. Если первая является стабильной при нормальном давлении, то вторая проявляется полностью при высоких давлениях, когда стабильными становятся неустойчивые карбиды Fe_3C , Fe_7C_3 , алмаз. Поскольку известно, что самостоятельными компонентами могут быть устойчивые химические соединения, то диаграмму состояния железо-алмаз, метастабильную при нормальном давлении (т.е. имеющую промежуточное равновесие), можно только условно считать состоящей из диаграммы Fe- Fe_3C , Fe_3C - Fe_7C_3 , Fe_7C_3 -алмаз. Однако практическое значение имеют сплавы с содержанием углерода до 5%, охватываемые фрагментом полной диаграммы состояния железо-алмаз - диаграммой состояния металлической системы Fe- Fe_3C (железо-цементит), в соответствие с которой кристаллизуются стали и белые чугуны, и которая и является предметом данной работы. Железо - металл переходной группы (атомный номер 26, атомная масса 55,85), температура плавления $1539^{\circ}C$, отличается полиморфизмом - ниже температуры $911^{\circ}C$ и в интервале 1392 - $1539^{\circ}C$ устойчиво в форме α -модификации (Fe_{α}), а в интервале 911 - $1392^{\circ}C$ в форме γ -модификации (Fe_{γ}). Железо- α имеет объемноцентрированную кубическую решетку (K8), параметр которой при комнатной температуре равен $0,286$ нм, ниже температуры $768^{\circ}C$ ферромагнитно, а в интервале 768 - $911^{\circ}C$ - парамагнитно. Железо- γ имеет гранецентрированную кубическую решетку (K12) с параметром $0,386$ нм. Высокотемпературная модификация α -железа и γ -железо парамагнитны.

Второй компонент - цементит имеет сложную ромбическую решетку, полиморфизмом не отличается, при температурах ниже $210^{\circ}C$ имеет слабо выраженные ферромагнитные свойства. По расчетным данным температура

плавления цементита оценивается величиной, равной 1252°C.

При взаимодействии железа и углерода в железоуглеродистых сплавах формируются в зависимости от концентрации компонентов и температуры следующие четыре фазы:

феррит - ограниченный твердый раствор внедрения углерода в α -железе;

аустенит - ограниченный твердый раствор внедрения углерода в γ -железе;

жидкость - неограниченный жидкий раствор углерода в железе (более строгим является использование термина «расплав»);

цементит - карбид железа Fe_3C с содержанием углерода 6,67%. [4]» [3]

Структурные составляющие диаграммы состояния железо-цементит: жидкость, феррит, цементит, аустенит, перлит и ледебурит.

Диаграмма состояния железо-цементит в интервале концентраций от железа до цементита изображена на рис.17. Фазовые превращения на линиях и точках диаграммы представлены в табл.8 и 9.

Линия ABCD – линия ликвидус соответствует насыщенному состоянию жидкости (Ж): на участках АВ и ВС - железом, а на участке CD - углеродом. Линия ANJECFD - солидус определяет насыщенное состояние продуктов кристаллизации - феррита (Ф), аустенита (А) и цементита (Ц). В фазовых областях между линиями HNJ и GSP происходит фазовая перекристаллизация $\Phi \leftrightarrow A$, причем линии HN и GP определяют насыщение феррита углеродом, а линии NJ и GS -аустенита железом. Линии ES и PQ определяют насыщенное состояние аустенита и феррита углеродом. В соответствии с указанными значениями при охлаждении из исходной фазы выделяется фаза, богатая компонентом, которым насыщена исходная фаза. Например, при температурах линии ES из аустенита выделяется цементит.

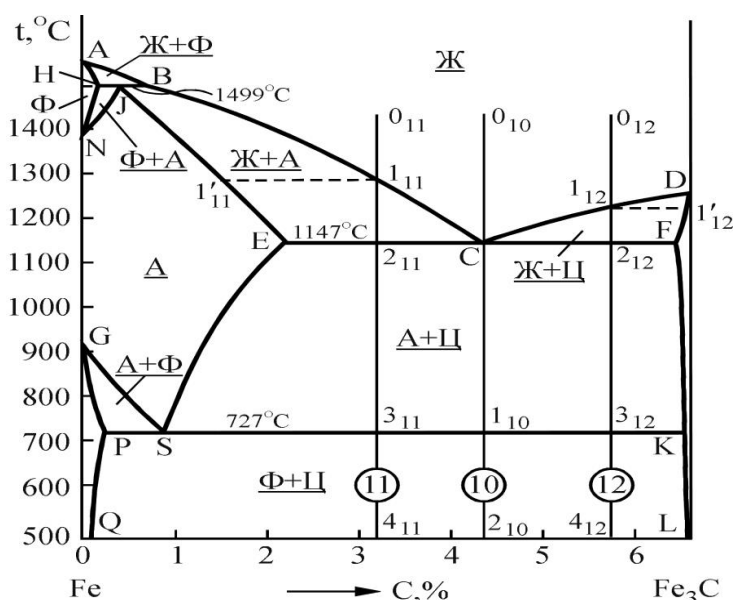


Рисунок 17 – Диаграмма состояния системы железо-цементит

Горизонтальные линии HJB, ECF и PSK указывают на протекание инвариантных реакций, для которых число степеней свободы $S=K+1-F=0$.

Значения координат точек на диаграмме представлены на отдельных ее фрагментах (рис.18 и 19).

При кристаллизации всех сплавов с содержанием углерода до 2,14% (последние данные - 2,06%), в определенном интервале температур, происходит образование аустенита.

Железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода 0,025-2,14% называют углеродистыми сталями, более 2,14% - белыми чугунами.

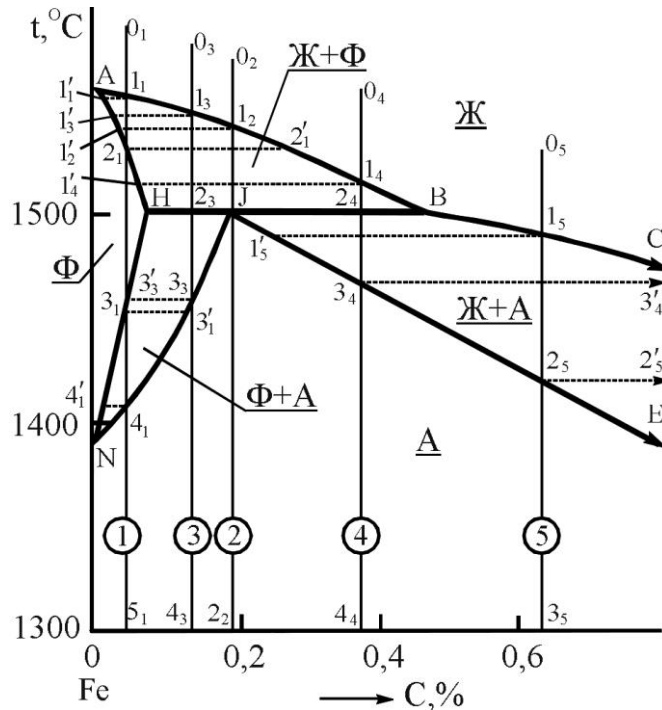


Рисунок 18 – Фрагмент диаграммы железо-цементит (сплавы 1...5)

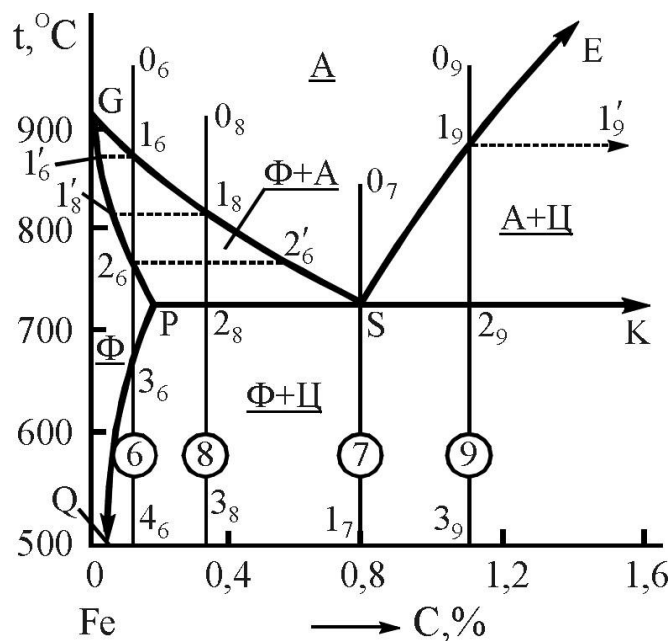


Рисунок 19 – Фрагмент диаграммы железо-цементит (сплавы 6...9)

2 Анализ диаграммы состояния железо-цементит

Рассмотрим превращения в железоуглеродистых сплавах, содержащих до 2,14% С, - техническом железе и углеродистой стали, охватываемых "стальной" частью диаграммы состояния железо-цементит.

В сплавах, содержащих углерода менее 0,1% (сплав 1, см. рис.18), при охлаждении из жидкого состояния последовательно протекают следующие превращения (рис.4): в интервале температур 1_1-2_1 – первичная кристаллизация с образованием феррита, в интервале 3_1-4_1 - фазовая перекристаллизация с образованием аустенита. В интервалах 2_1-3_1 и ниже точки 4_1 происходит охлаждение продуктов превращений, соответственно феррита и аустенита. Уравнения фазовых реакций и схематическое изображение структур в указанных интервалах температур показаны на рис.20.

При содержании углерода 0,16% (сплав 2, см. рис.18) первичная кристаллизация происходит в интервале 1_2-J . При этом жидкость, оставаясь насыщенной, изменяет состав в диапазоне от 1_2 до В, а феррит - от $1'_2$ до Н. В двухфазной смеси Ж+Ф количество жидкости состава точки В (J_B) представлено отрезком НJ, а количество феррита состава точки Н (Φ_H) -отрезком JB.

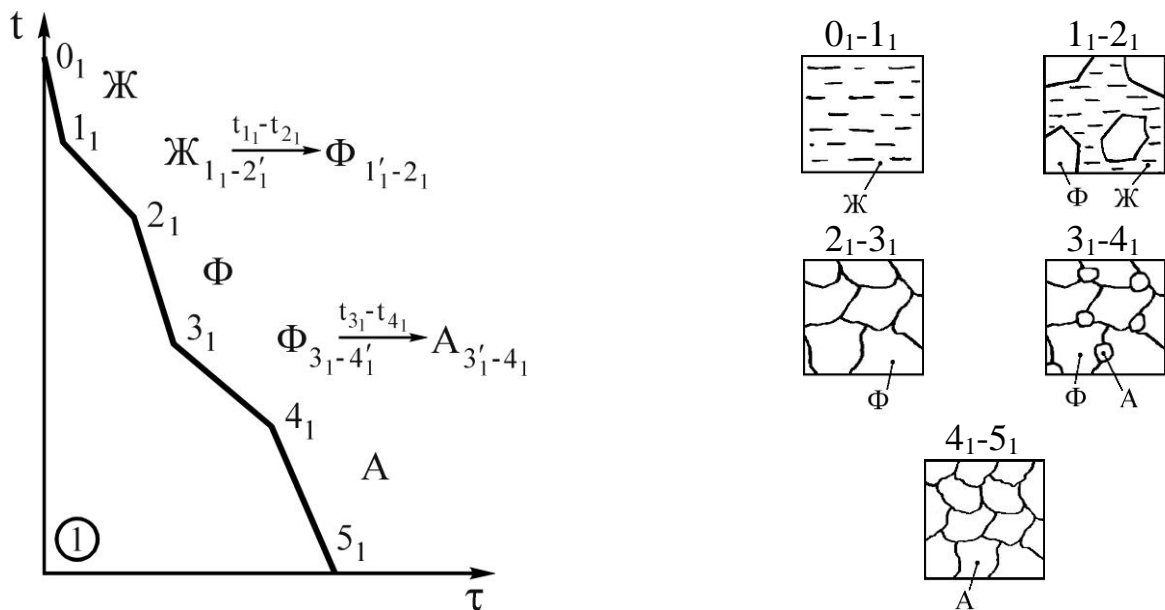


Рисунок 20 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 1

При взаимодействии жидкости J_B и феррита Φ_H образуется аустенит состава точки J(A_J) (см. уравнение на рис.21). Эта нонвариантная перитектическая реакция распространяется на интервал концентрации углерода от точки Н (0,1% С) до точки В (0,5% С).

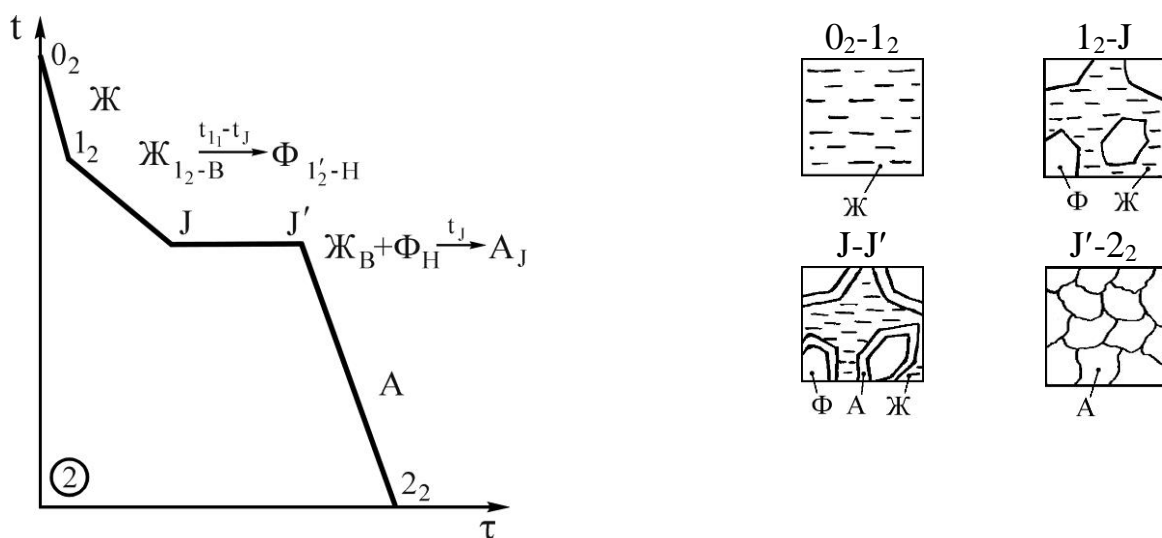


Рисунок 21 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 2

В сплавах типа 3 ($<0,16\% \text{ C}$) и 4 ($>0,16\% \text{ C}$) (см. рис.18) перитектическое превращение протекает соответственно при избытке феррита или жидкости. Поэтому ниже 1499°C превращение в сплавах типа 3 протекает в форме фазовой перекристаллизации с образованием аустенита (рис.22), а в сплавах типа 4 - первичной кристаллизации с образованием аустенита (рис.23).

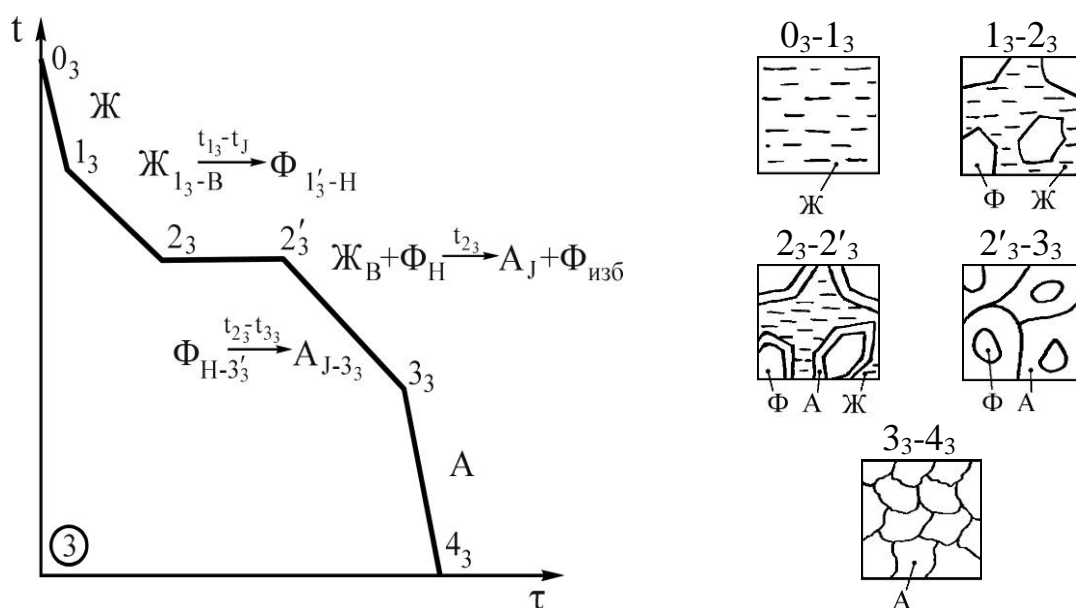


Рисунок 22 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 3

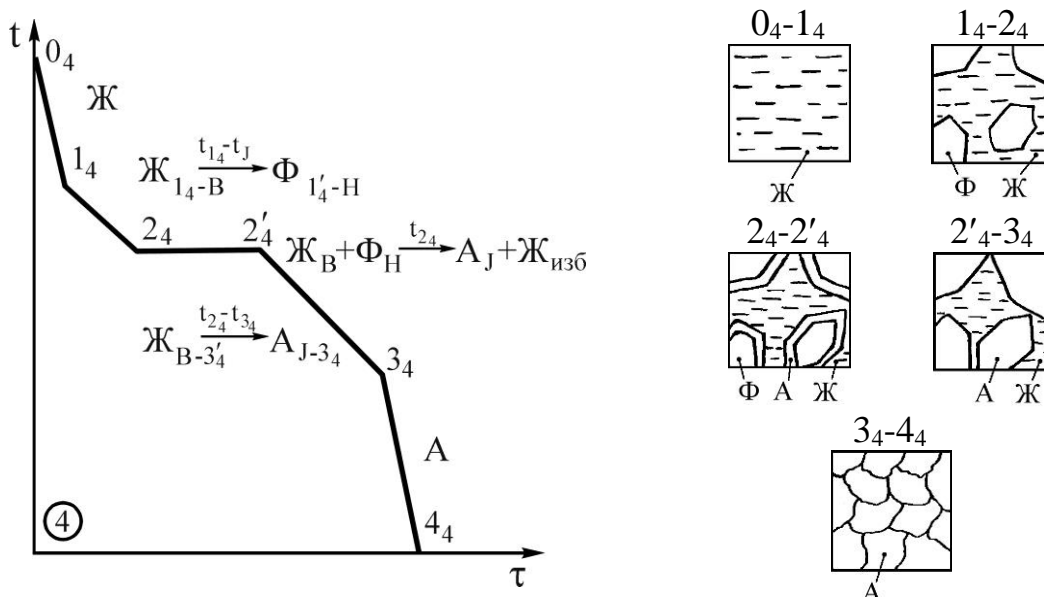


Рисунок 23 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 4

В сплавах типа 5 (0,5-2,14% С, см. рис.18) имеет место первичная кристаллизация с образованием аустенита. При этом состав жидкости в условиях равновесной кристаллизации изменяется от точки 1_5 до точки $2'_5$, а аустенита - от точки $1'_5$ до точки 2_5 .

Как указывалось, формирование структуры стали при охлаждении до нормальной (комнатной) температуры проходит независимо от содержания углерода через состояние аустенита. При содержании углерода менее 0,025% (сплав типа 6, см. рис.19) аустенит в интервале температур 1_6-2_6 претерпевает фазовую перекристаллизацию с образованием феррита (рис.24). Образовавшийся феррит оказывается насыщенным и ниже температуры точки 3_6 , при дальнейшем охлаждении из него выделяется цементит. При этом состав феррита изменяется в соответствии с линией его насыщения до точки Q (0,0067% С).

При содержании углерода в стали 0,8% (сплав 7, см. рис.19) аустенит при температуре 727°C (точка S) оказывается насыщенным и железом, и углеродом. Поэтому при этой температуре происходит распад аустенита с образованием эвтектоидной смеси феррита и цементита, которая называется перлитом (П, см.рис.25). В интервале температур ниже 727°C из ферритной составляющей перлита в соответствии с линией PQ выделяется третичный цементит Ц_{III} (см. рис.25), соединяющийся с цементитом перлита. Сталь состава точки S (0,8% С) называется эвтектоидной.

При охлаждении аустенита доэвтектоидной стали (сплав 8, см. рис.19) в интервале температур 1_8-2_8 происходит фазовая перекристаллизация. При этом на уровне температуры 727°C аустенит в двухфазной смеси А+Φ приобретает эвтектоидный состав и при постоянной температуре превращается в перлит (см. реакции на рис.26). Таким образом, ниже 727°C доэвтектоидная сталь представлена перлитом и избыточной фазой - ферритом. В соответствии с

линией PQ в этой стали ниже 727°C также выделяется третичный цементит Ц_{III} .

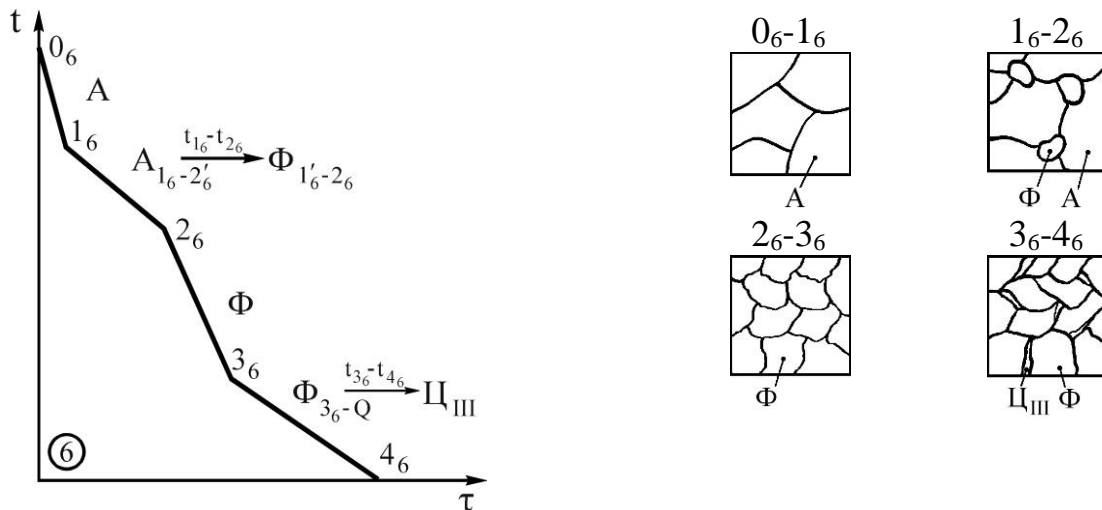


Рисунок 24 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур сплава 6

Из аустенита заэвтектоидной стали (сплав 9, рис.19) ниже температуры линии ES (точка 1_9) выделяется цементит (Ц_{II}) и при температуре 727°C , достигая эвтектоидного состава, превращается в перлит (см. уравнения на рис.27). Следовательно, в структуре эвтектоидной стали также содержится перлит.

Таким образом, в равновесным условиях при нормальной температуре эвтектоидная сталь представлена перлитом, доэвтектоидная - перлитом и избыточным ферритом, заэвтектоидная - перлитом и избыточным цементитом в виде сетки по границам зерен перлита.

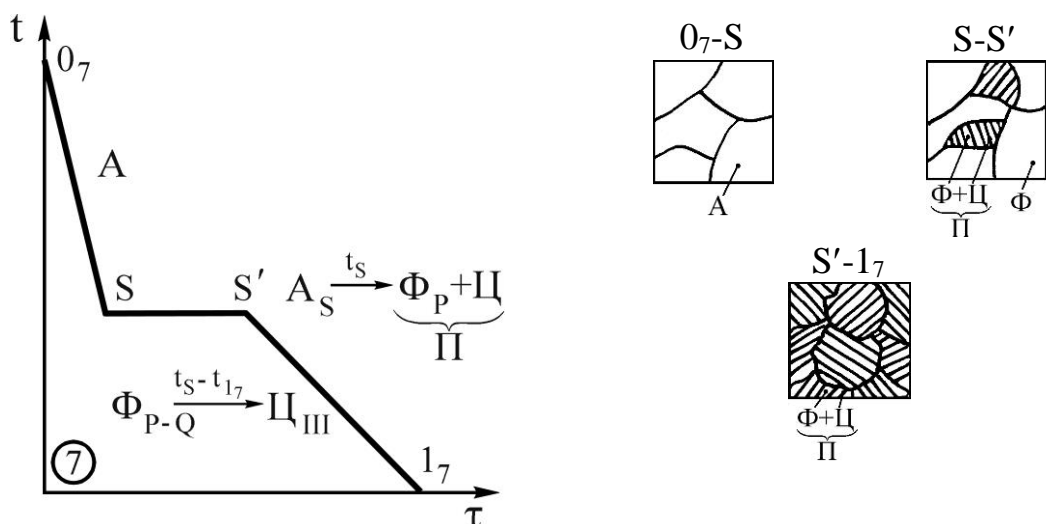


Рисунок 25 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур сплава 7

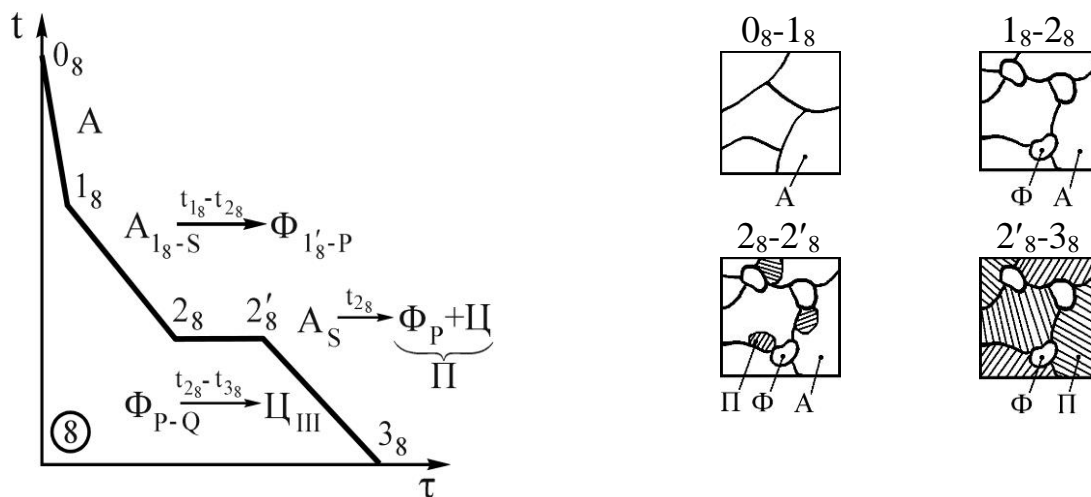


Рисунок 26 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 8

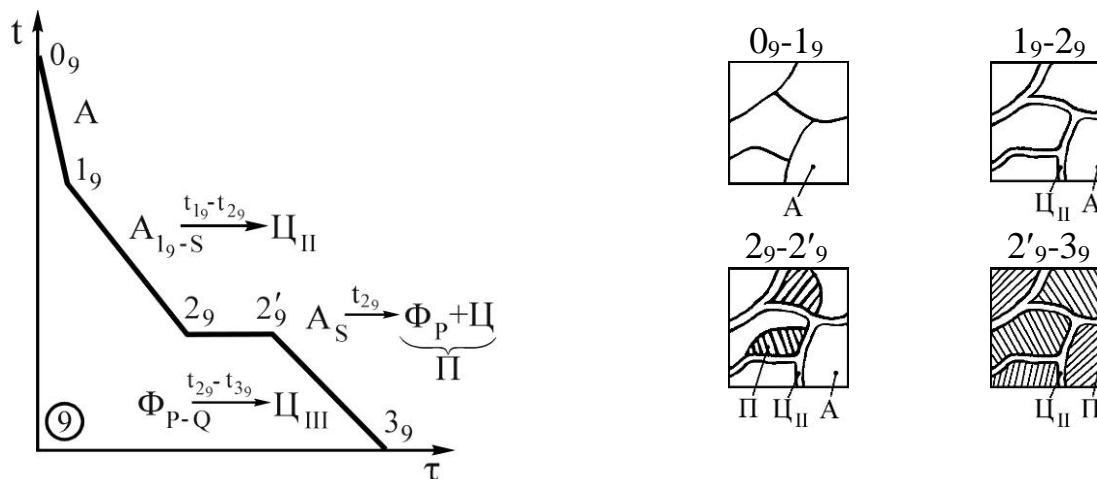


Рисунок 27 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 9

Различают чугуны эвтектический (4,3% C), доэвтектический (2,14-4,3% C) и заэвтектический (более 4,3% C). Эвтектический чугун (сплав 10, см. рис.17) в процессе кристаллизации распадается с образованием смеси аустенита состава точки E и цементита. Такое превращение называется эвтектическим, а продукт превращения - смесь цементита и аустенита - ледебуритом (эвтектикой). Эвтектическое превращение, будучи трехфазным, согласно правилу фаз протекает при постоянной температуре (рис.28). В соответствии с линией ES из аустенита ледебурита при охлаждении в интервале 1147-727⁰C выделяется вторичный цементит и при температуре 727⁰C превращается в перлит.

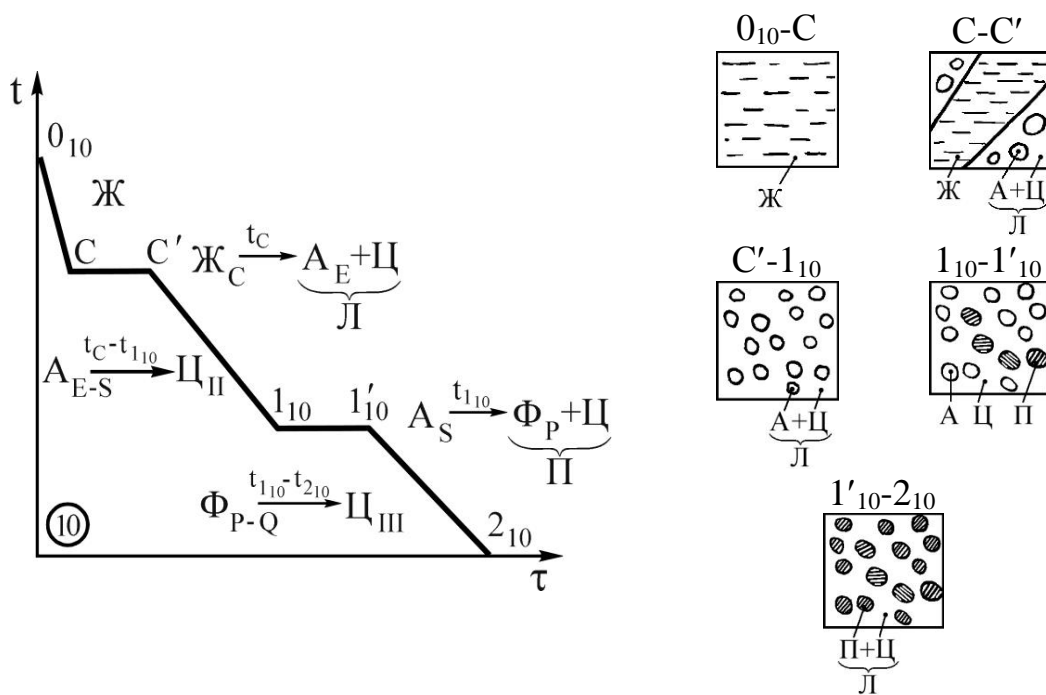


Рисунок 28 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 10

В доэвтектическом чугуне (см. рис.17., сплав 11) описанным превращениям предшествует первичная кристаллизация с образованием аустенита (рис.29). В заэвтектическом чугуне (см. рис.17, сплав 12) продуктом первичной кристаллизации является цементит (рис.30). При этом на уровне температур 1147°C жидкость в смесях Ж+А и Ж+Ц приобретает эвтектический состав и превращается в ледебурит.

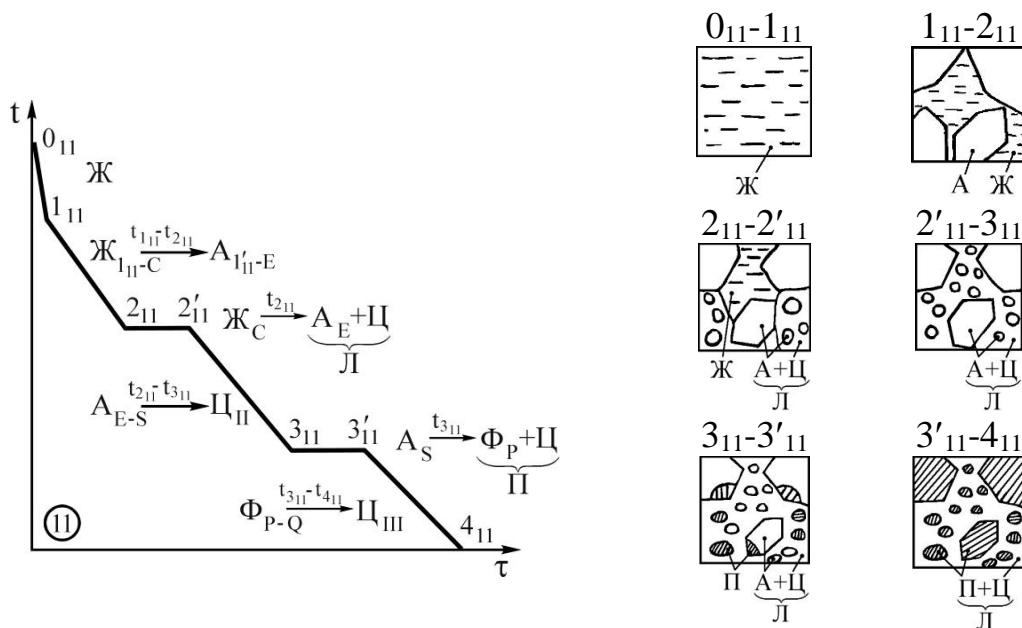


Рисунок 29 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 11

Таким образом, кристаллизация всех сплавов в интервале содержания углерода от 2,14 до 6,67% завершается эвтектическим превращением при одинаковой температуре на линии ECF – 1147°C (см. рис.24), всем чугунам свойственно также выделение из аустенита вторичного цементита в интервале 1147-727°C, протекание эвтектоидного превращения при температуре 727°C и выделение ферритом третичного цементита ниже 727°C. Формирование структуры чугуна при охлаждении из жидкого состояния сопряжено с протеканием двух нонвариантных превращений эвтектического и эвтектоидного. Поэтому на кривых охлаждения образуются две изотермические площадки при температурах 1147°C и 727°C (см. рис.28-30).

Структура эвтектического чугуна при нормальной температуре представлена ледебуритом, доэвтектического - ледебуритом и перлитом, заэвтектического - ледебуритом и первичным цементитом.

Диаграмма состояния железо-цементит содержит информацию о фазовом состоянии различных сталей и чугунов. Наряду с этим она позволяет решать задачи, связанные с определением состава фаз и количественного соотношения фаз. Например, сплав 11 (см. рис.17) при температуре точки 3_{11} содержит феррит состава точки P и цементит состава точки K. При этом количество феррита равно $3_{11}K/PK$, а цементита - $P3_{11}/PK$.

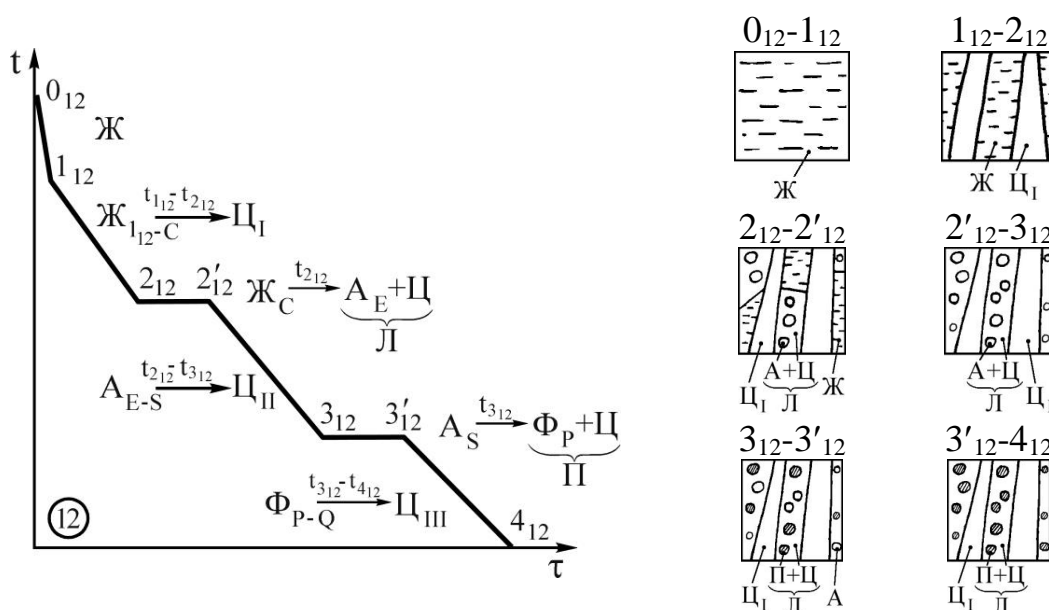


Рисунок 30 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 12

3 Порядок выполнения работы

1. Изучить диаграмму состояния Fe-C.
2. Охарактеризовать структуру железоуглеродистых сплавов. Заполните таблицу 6
3. Выполнить по заданию (в таблице 7) анализ процесса кристаллизации в

равновесных условиях одного из железоуглеродистых сплавов:

- построить диаграмму состояния системы Fe-C, указать фазовые области и провести линию состава заданного сплава;
 - построить кривую охлаждения;
 - пользуясь правилом фаз Гиббса, определить правильность построения кривой охлаждения;
 - описать превращения, происходящие при охлаждении сплава,
4. Привести уравнения фазовых реакций;
- изобразить структуру сплава для каждого этапа охлаждения;
 - определить состав и количественное соотношение фаз при заданной в таблице температуре.

Таблице 6 – Характеристика структур железоуглеродистых сплавов

Наименование структуры	Определение	Содержание углерода C, %	Характеристика
Феррит			
Аустенит			
Перлит			
Цементит			
Ледебурит			

Таблице 7 – Данные для анализа процесса кристаллизации

Вариант	Содержание C, в сплаве, %	Температурная линия t, °C
1	0,2	750
2	0,4	1480
3	0,6	1124
4	0,8	1200
5	1,0	1450
6	1,5	1400
7	2,0	700
8	2,0	1300
9	2,5	800
10	3,2	900
11	3,3	1250
12	4,25	1147
13	5,0	740
14	6,0	1000
15	5,8	1200

4 Содержание отчета

1. Сведения о фазовых состояниях диаграммы Fe-C.
2. Таблица фазовых превращений, графики кривой охлаждения согласно варианту.
3. Выводы о полученных результатах.

5 Контрольные вопросы

1. Напишите уравнения невариантных реакций.
2. Какая кристаллическая решетка у α -железа?
3. Чем отличается цементит первичный от вторичного и третичного?
4. Что называют аустенитом?
5. Какое структурное состояние при нормальной температуре имеет доэвтектический, эвтектический, заэвтектический чугуны?
6. Что такое цементит? Какова его структура?
7. Где на диаграмме Fe-C линия ликвидус, линия солидус, линии невариантных реакций? Как они обозначаются?
8. Что называют перлитом? Какова его структура?
9. Почему диаграмма состояния Fe-C является метастабильной?
10. Какое структурное состояние при нормальной температуре имеет доэвтектоидная, эвтектоидная, заэвтектоидная стали?
11. Что такое феррит?
12. Что такое ледебурит?

6 Список рекомендуемых источников

1. Гуляев А.П. *Металловедение*. / М.: *Металлургия*, 2015.- 544С., С.142-160.
2. Акулов В. М *Методические указания для выполнения лабораторных работ по курсу «Технология конструкционных материалов»/ Кустанай, 1989*
3. Адашкин А.М., Зуев В.М. *Материаловедение (металлообработка)/ 2-е изд*, М.,; Издательский центр «Академия»,2003.
- 4.Борисов В.И. *Лабораторией практикум по металловедению и термической обработке /М., «Высшая школа», 2012.*
5. Бородулин В.Н., Воробьев А.С и др.; Под.ред Филикова В А. *Электротехнические и конструкционные материалы. /М., Мастерство. Высшая школа, 2001*
6. Некрасов С.С. *Практикум по технологии конструкционных материалов / М . «Колос», 1978.*

Таблица 8 – Фазовые превращения на линиях диаграммы Fe-C[7]

Обозначение линий	Фазовые превращения на линиях (при охлаждении)	Перечень фаз	Количество фаз	Число степеней свободы
AC	Начало выделения аустенита из жидкости	аустенит + жидкость	2	1
AE	Конец выделения аустенита из жидкости	аустенит + жидкость	2	1
EC	Конец выделения аустенита из жидкости и образование ледебурита	аустенит + цементит+жидкость	3	0
CD	Начало выделения цементита (первичного) из жидкости	жидкость+цементит	2	1
CF	Конец выделения цементита (первичного) из жидкости и образование ледебурита из жидкости	жидкость+цементит+аустенит	3	0
ECF	Образование ледебурита из жидкости	жидкость+аустенит + цементит	3	0
GS	Начало выделения феррита из аустенита	аустенит + феррит	2	1
GP	Конец выделения феррита из жидкости	аустенит + феррит	2	1
PS	Конец выделения феррита из жидкости и образование перлита из аустенита	аустенит + феррит+цементит	3	0
PSK	Образование перлита из аустенита	аустенит + феррит+цементит	3	0
SE	Начало выделения цементита (вторичного)	аустенит + цементит	2	1
SK	Конец выделения цементита (вторичного) из аустенита и образование перлита из аустенита	аустенит + цементит+феррит	3	0
PQ	Начало выделения цементита (третичного) из феррита	феррит + цементит	2	1

Таблица 9 – Фазовые превращения в точках диаграммы Fe-C [7]

Обозначение точек	Фазовые превращения в точках (при нагревании и охлаждении)	Содержание углерода, %	Соответствующая точкам температура, °С	Перечень фаз	Количество фаз	Число степеней свободы
A	Температура плавления и затвердевания чистого железа	0	1539	Жидкость + Кристаллы железа	2	-
D	Температура плавления и затвердевания цементита	6,67	1600	Жидкость+цементит (первичный)	2	-
C	Плавление и образование ледебурита	4,3	1147	Жидкость+аустенит+цементит	3	0
E	Максимальное растворение углерода в аустените	2,14	1147	Жидкость+аустенит+цементит	3	0
S	Минимальное растворение углерода в аустените	0,80	727	Аустенит+Феррит+цементит	3	0
G	Превращение γ – железа в α - железо или α - железо в γ – железа	0	911	γ – железа + α -железо	2	-
P	Максимальное растворение углерода в α - железе	0,025	727	Аустенит+феррит+цементит (вторичный)	3	0
Q	Минимальное растворение углерода в α - железе	0,006	0	Феррит+цементит (третичный)	2	1
K	Нет фазовых превращений	6,67	727	Цементит (первичный)	1	-
F	Нет фазовых превращений	6,67	1147	Цементит (первичный)	1	-

Лабораторная работа № 6

Тема: Термическая обработка сталей

Цель: приобрести навыки по термической обработке сталей, ознакомиться с метастабильными структурами.

1 Теоретические сведения

Термическую обработку стали можно определить как процесс теплового воздействия на сталь, направленный на изменение ее структуры и свойств.

Научные основы термической обработки были заложены великим русским металлургом Д.К. Черновым, открывшим в 1868 г. структурные превращения в стали. Режимы термической обработки стали связаны с критическими точками. Температуру, соответствующую линии РК на диаграмме состояния Fe-Fe₃C, обозначают точкой A₁. Температуры, соответствующие линии GS, обозначают точкой A₃, а линии SE – точкой A_m.

Из-за теплового гистерезиса превращения при нагреве стали начинаются при температурах выше точек A₁, A₃, A_m, а при охлаждении – ниже этих точек. Для обозначения температур превращения при нагревании у буквы A внизу ставят индекс с, а при охлаждении r (например, A_{c1}, A_{cm}, A_{r1}).

Структура термически обработанной стали данного состава, а, следовательно, и ее свойства, определяется тремя основными факторами – температурой нагрева, временем выдержки при этой температуре и скоростью охлаждения.

Термическую обработку можно разделить на несколько основных видов, исходя из сущности происходящих в металле процессов. Такими основными видами являются: отжиг, закалка и отпуск.

Во всех процессах на сплав оказывается только тепловое воздействие.

Рассмотрим на примере эвтектоидной и доэвтектоидной стали структуры, которые получают при отжиге, закалке, отпуске и химико-термической обработке.

1.1 Отжиг

Различают отжиг первого и второго рода. *Отжиг первого рода* имеет целью снятие напряжений, осуществление рекристаллизации и гомогенизации. Применительно к углеродистым сталям отжиг для снятия напряжений производится при 400 – 600°C. *Рекристаллизационный отжиг* осуществляется при 680 – 700°C, т.е. ниже превращения A_{c1}. *Гомогенизационный отжиг* для устранения дендритной ликвации в литой стали производится в аустенитной области при температуре 1100 – 1200°C в течение 10 – 20 ч. За это время в металле может заметно вырасти аустенитное зерно, что приводит к пониженным механическим свойствам. Поэтому после гомогенизационного отжига сталь

всегда подвергают *отжигу второго рода* – фазовой перекристаллизации с целью измельчения аустенитного зерна.

Для отжига с полной фазовой перекристаллизацией стали (отжига второго рода) необходимо выполнить два условия.

Во-первых, необходимо нагреть сталь до такой температуры, при которой она находится в аустенитном состоянии, и выдержать при этой температуре до полной аустенизации. Из-за очень сильной развитой поверхности кристаллов феррита и цементита количество зародышей аустенита столь велико, что сразу же по окончании фазового превращения выше A_{c3} сталь имеет мелкозернистое строение. Однако зерна аустенита могут быстро укрупняться. Одна из причин этого заключается в том, что превращение феррит – аустенит происходит с уменьшением объема на 1 %, которое вызывает пластическую деформацию. Пластическая деформация обуславливает рост зерна в твердом металле. Температура нагрева должна быть выше точки A_{c3} для доэвтектоидной стали и выше A_{cm} для заэвтектоидной.

Во-вторых, необходимо охладить сталь с относительно небольшой скоростью, чтобы произошло фазовое превращение с образованием из аустенита феррито-цементитной смеси. Для обсуждения явлений, происходящих в структуре сталей при отжиге второго рода и при закалке, необходимо обратиться к диаграмме изотермического распада аустенита. На рис. 31 изображена такая диаграмма для эвтектоидной стали с 0,8 %С.

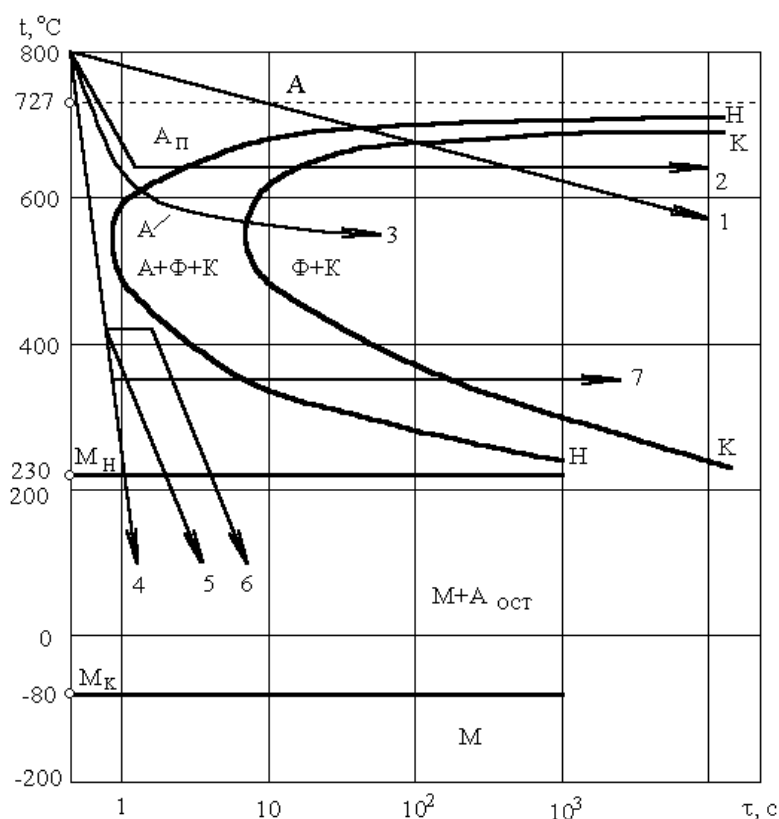


Рисунок 31 – Диаграмма изотермического распада аустенита эвтектоидной стали (0,8 %С)

На этом рисунке кривая Н показывает начало распада аустенита, кривая К – его конец. По диаграмме ниже 727°C слева от кривой Н структура стали состоит из переохлажденного аустенита $A_{\text{п}}$. Выдержка переохлажденного аустенита при температурах от 700 до 450°C приводит к обычному распаду на эвтектоидную смесь феррита и цементита. [9]

Эвтекоидная смесь феррита с цементитом растет в виде колоний из отдельных центров в аустенитных зернах. Чем больше скорость охлаждения стали, тем сильнее переохлаждается аустенит ниже 727°C и более тонкое внутреннее строение имеют колонии эвтектоидной смеси. В зависимости от дисперсности пластинчатой феррито-цементитной смеси различают *перлит*, *сорбит* и *троостит*. Перлит образуется при небольших степенях переохлаждения аустенита (охлаждение с печью со скоростью в несколько градусов в минуту), и двухфазное строение его колоний хорошо видно при увеличении 300 . Твердость перлита $200 - 250$ НВ. Сорбит образуется при несколько больших степенях переохлаждения аустенита (охлаждение на воздухе со скоростью в несколько десятков градусов в минуту). Поэтому он более дисперсен и его внутреннее строение можно различить при большем увеличении. Сорбит обладает твердостью 300 НВ. Троостит (400 НВ) образуется при еще больших степенях переохлаждения аустенита (охлаждение в масле со скоростью в несколько десятков градусов в секунду). Изучение троостита под электронным микроскопом показывает, что он отличается от перлита и сорбита только меньшей толщиной пластинок цементита. Благодаря большей дисперсности, троостит сильно растравливается, и в световой микроскоп виден сплошной темный фон шлифа.

На использовании фазовой перекристаллизации основаны разные виды отжига. Из них наиболее важен *полный отжиг* и *нормализационный отжиг*. Цель отжигов состоит в повышении пластических свойств металла и улучшении обрабатываемости резанием. Полному отжигу обычно подвергают доэвтектоидные стали, при этом нагрев ведут выше $A_{\text{с3}}$ на $30 - 50^{\circ}\text{C}$, выдерживают и медленно, обычно вместе с печью охлаждают. В результате полного отжига в структуре стали появляется перлит. Неполный отжиг применяется для заэвтектоидной стали, нагрев при этом ведут выше $A_{\text{с1}}$, но ниже $A_{\text{сm}}$. При этих температурах в структуре исчезает феррит и вместо него появляется аустенит, но сохраняется вторичный цементит. Во время выдержки при указанных температурах происходит сфероидизация пластинчатых выделений цементита.

Обычно после отжига второго рода сталь охлаждают медленно с печью (скорость охлаждения 30 град/ч). Если после нагрева выше $A_{\text{с3}}$ или $A_{\text{сm}}$ сталь охладить на спокойном воздухе (скорость охлаждения $1,6$ град/ч), то появляющийся перлит приобретает более тонкое строение, чем после охлаждения с печью. Это приводит к повышению прочности и пластичности стали. Данная разновидность термообработки называется нормализацией.

При полном отжиге доэвтектоидной стали из аустенита выделяется весь избыточный феррит и образуется эвтектоид перлит. Увеличение скорости

охлаждения доэвтектоидной стали с температуры выше A_{c3} приводит не только к увеличению дисперсности эвтектоида, но и к изменению избыточных выделений феррита. При нормализации, а также при охлаждении в масле, избыточный феррит не успевает полностью структурно обособиться. Не успевший выделиться в виде самостоятельной структурной составляющей избыточный феррит входит в эвтектоид. Такой эвтектоид с повышенным содержанием феррита имеет меньше 0,8 %С, и поэтому он был назван квазиэвтектоидом. В зависимости от степени дисперсности, квазиэвтектоид в доэвтектоидной стали, так же как и эвтектоид в чисто эвтектоидной стали, называют сорбитом и трооститом.

Чем больше скорость охлаждения, тем меньше успевает выделиться из аустенита структурно-свободного избыточного феррита. При достаточно быстром охлаждении выделение структурно свободного избыточного феррита может быть полностью подавлено, а вся масса доэвтектоидной стали в этом случае имеет квазиэвтектоидную структуру. Это лишний раз указывает на то, что содержание углерода можно оценивать по микроструктуре только для хорошо отожженных сталей, приведенных в равновесное состояние.

Кроме скорости охлаждения, на структуру стали сильно влияет температура нагрева в аустенитной области. Чем выше температура нагрева, тем более крупным вырастает аустенитное зерно и тем крупнее получаются выделения избыточного феррита и колонии эвтектоида. Если при полном отжиге доэвтекторидную сталь сильно перегреть выше точки A_{c3} , то образуется характерная *видманштеттова структура*. Из крупных зерен аустенита образуются крупные колонии перлита, а избыточный феррит выделяется в виде ориентированных пластин. В сечении шлифа эти пластины представляют собой крупные иглы. При такой структуре сталь обладает пониженной ударной вязкостью. Поэтому при полном отжиге и нормализации температура нагрева стали не должна значительно превышать точку A_{c3} .

Ради экономии времени и затрат энергии сталь подвергают изотермическому отжигу, который состоит в том, что сначала сталь переводят в аустенитное состояние, а затем быстро охлаждают до температур на 50 – 100 град ниже A_{c1} и выдерживают здесь столько времени, чтобы завершился переход переохлажденного аустенита в перлит. После этого изделие охлаждают на спокойном воздухе. Изотермический отжиг позволяет получать более однородные свойства в разных участках объема металла, так как превращение везде идет примерно с одинаковой скоростью, тогда как при нормализации условия охлаждения на поверхности и в толще металла существенно различаются. Условия изотермического отжига изображены на рис. 31 линией 2.

Если необходимо получить несколько большую твердость, чем при нормализации, и нежелательно проводить закалку с последующим отпуском, иногда применяют одинарную термообработку, которую называют также патентированием или сорбитизацией. При этом распад аустенита совершается при 500 – 550^oС в области изгиба С-кривых (кривая 3 на рис. 31). В результате этой разновидности термообработки эвтектоид в стали приобретает сорбитную структуру. Практически одинарная термообработка проводится путем

погружения изделий в жидкий свинец, соль, обрызгиванием водой, обдувкой воздухом. Применяется она для рельсов и проволоки.

1.2 Закалка

Феррит и цементит отличаются по химическому составу от исходного аустенита. Распад аустенита с образованием феррита и цементита – диффузионный процесс, связанный с перераспределением углерода, т.е. с диффузионным перемещением атомов на значительные расстояния, на много превышающие период решетки аустенита. При охлаждении углеродистой стали с достаточно большой скоростью, например, в холодной воде (сотни градусов в секунду), аустенит настолько сильно переохлаждается ниже 727°C , что не распадается на смесь двух стабильных фаз, т.к. подвижность атомов при сильном переохлаждении слишком мала.

При больших переохлаждениях в условиях малой подвижности атомов происходит бездиффузионное полиморфное превращение $\gamma \rightarrow \alpha$: аустенит – раствор внедрения углерода в $\gamma\text{-Fe}$ с ГЦК решеткой превращается в **мартенсит** – пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в $\alpha\text{-Fe}$. Мартенсит – совершенно новая, метастабильная фаза. Он появляется в переохлажденном аустените при 230°C . Это отражено на диаграмме (рис. 31) горизонтальной линией (M_n).

Растворимость углерода в $\gamma\text{-Fe}$ при комнатной температуре в равновесных условиях мала. В мартенсите же сохраняются все то количество углерода, которое было в исходном аустените. Поэтому мартенсит является метастабильным пересыщенным раствором углерода в $\alpha\text{-Fe}$. Избыточные атомы углерода делают ОЦК решетку тетрагональной.

Для полной закалки доэвтектоидную углеродистую сталь необходимо нагреть выше линии GS, выдержать до завершения аустенизации и охладить в воде. После такой обработки структура закаленной стали будет состоять из мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита.

Мартенсит имеет больший объем, чем исходный аустенит, из-за чего непревращенный аустенит испытывает сильное сжатие, а пластины мартенсита располагаются по определенным кристаллографическим плоскостям. На шлифах пластины мартенсита выглядят как иглы, часто расположенные под углом 60 и 120° друг к другу. Начавшееся при 230°C мартенситное превращение идет дальше только по мере снижения температуры. Появление новых количеств мартенсита продолжается до -80°C . При этой температуре в структуре остается несколько процентов аустенита ($A_{\text{ост}}$). Температура -80°C считается концом мартенситного превращения, и на диаграмме это отражено горизонтальной линией, (M_k). Мартенсит резко отличается по свойствам от аустенита. Он ферромагнитен и очень тверд – твердость по Роквеллу HRC 65.

Чем выше температура нагрева под закалку, тем крупнее вырастает аустенитное зерно и тем крупнее образуются в нем пластины мартенсита. В правильно закаленной стали мартенсит не имеет под микроскопом типичного игольчатого строения и называется «бесструктурным». Температура закалки

доэвтектоидной стали не должна превышать точку A_{c3} более чем на $30 - 50^{\circ}\text{C}$. Свойства мартенсита сталей зависят от количества, растворенного в нем углерода – чем больше углерода, тем выше твердость.

Закалка доэвтектоидной стали с температуры выше линии PS , но ниже GS (рис. 32) называется неполной. В этом случае при температуре закалки в стали, кроме аустенита, находится также избыточный феррит. При закалке аустенит переходит в мартенсит, а феррит остается в виде мягких светлых включений на фоне мартенсита. Неполная закалка доэвтектоидной стали – это, как правило, брак термической обработки.

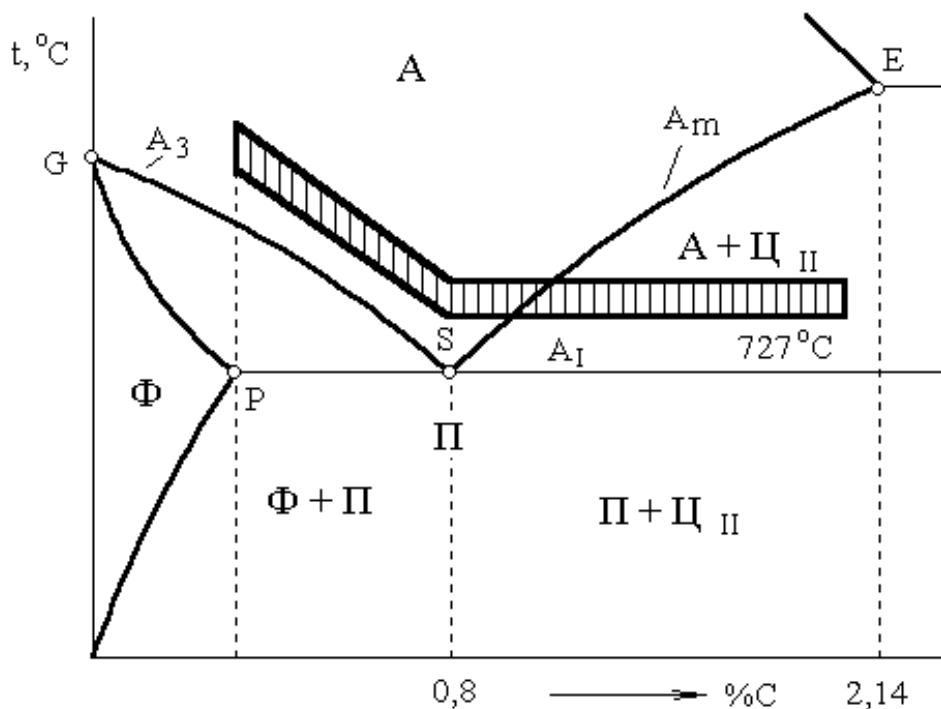


Рисунок 32 – Фрагмент диаграммы состояния «Fe - Fe₃C»»: заштрихован оптимальный интервал температур закалки

Если сталь при нагревании полностью переведена в аустенитное состояние, но охлаждена с недостаточно большой скоростью, то часть аустенита успевает претерпеть распад с образованием троостита, а остальная часть аустенита превращается в мартенсит. Получающуюся при этом структуру называют **троостомартенситной**. [9]

Заэвтектоидные стали нагревают выше A_{cm} с тем, чтобы сохранить в структуре твердые включения вторичного цементита, которые за время выдержки успевают приобрести округлую форму.

Закалка очень часто производится в воду. Водные растворы едкого натра или поваренной соли обладают большей охлаждающей способностью.

Разные сорта и марки стали имеют различную **закаливаемость**, т.е. способность воспринимать закалку. Закаливаемость оценивается по наибольшей твердости, получаемой в результате закалки. Как уже отмечалось, стали, содержащие менее 0,25 %C, не обладают закаливаемостью. С ростом содержания

углерода закаливаемость быстро растет, достигает наибольшей величины при 0,8 %С и затем почти не меняется.

Важнейшим свойством стали является **прокаливаемость**, которая определяется как глубина закаленного слоя в данных условиях охлаждения.

Простейший вид закалки – закалка в одной среде (режим 4 рис. 32). Недостаток этого способа заключается в возникновении больших напряжений в изделии из-за высокой скорости охлаждения. Закалка в двух средах (режим 5 рис. 1) осуществляется путем погружения изделия вначале в воду, а затем в масло. Первоначальное охлаждение в воде позволяет быстро пройти область наименьшей устойчивости аустенита и достичь температур, при которых он более устойчив. Дальнейшее более замедленное охлаждение в масле позволяет несколько выровнять перепад температур по сечению изделия. При этом виде закалки требуется очень точно выбрать время смены закалочных сред.

Ступенчатая закалка (режим 6 рис. 32) состоит в том, что нагретое изделие быстро помещают в среду, имеющую температуру 200 – 250⁰С, т.е. на 30 – 50 град выше точки начала появления мартенсита, и выдерживают некоторое время для выравнивания температуры во всем объеме, однако не больше, чем необходимо для начала превращения аустенита в бейнит. Охлаждающей средой служат расплавы селитры и щелочей. Затем изделие извлекают из соляной ванны и охлаждают на воздухе, при этом происходит образование мартенсита. В начале охлаждения до образования мартенсита сталь сохраняет аустенитную структуру и поэтому возможна правка покоробившихся изделий. Способ ступенчатой закалки применим лишь для небольших по размеру изделий, так как во внутренних слоях, где охлаждение идет с меньшей скоростью, может произойти обычный распад аустенита с образованием троостита или сорбита. [5]

Изотермическая закалка осуществляется по режиму 7 на рис. 32. Ее также проводят в соляной ванне, имеющей температуру 250 – 300⁰С. Изотермическая закалка позволяет получать сталь с меньшей твердостью, чем после обычной закалки, но с большей вязкостью.

Закалка с самоотпуском заключается в том, что изделие извлекают из охлаждающей среды прежде, чем температура в средних слоях достигла 400 – 500⁰С. Наружные слои в это время успевают охладиться до 150 – 200⁰С. В извлеченном из охлаждающей среды изделии за счет тепла центральных слоев наружные слои, где успел появиться мартенсит, прогреваются до 300 – 400⁰С и в них происходит отпуск мартенсита. В результате изделие приобретает твердую корку с вязкой сердцевиной. Для закалки с самоотпуском решающее значение имеет определение температуры поверхности по цветам побежалости, появляющимся на чистой поверхности из-за возникновения слоя окислов разной толщины. Желтый цвет соответствует 220 – 240, оранжевый 240 – 260, красно-фиолетовый 260 – 280, синий 280 – 300⁰С [8].

Поверхностная закалка проводится путем нагрева поверхностных слоев изделия на глубину 2 – 3 мм и соответствующего охлаждения. Нагрев осуществляется в индукторе токами высокой частоты. Таким образом обрабатывают шейки стальных коленчатых валов, шестерни. Нагрев

поверхности больших изделий (прокатных валов, крупных валов) осуществляется с помощью газовых или керосиновых горелок. Поверхностная закалка позволяет получить структуру мартенсита в поверхностном слое до 2 – 4 мм. Структура свойства сердцевины изделия при этом не меняются, они определяются предварительной общей термообработкой всего изделия.

Таблица 10 – Варианты заданий

Вариант	Материал детали	Деталь
1	У7	кернер
2	45	ось
3	60	Колесо зубчатое
4	75	пружина
5	У12	резец
6	40	вал
7	50	молоток
8	У8	зубило
9	У13	напильник
10	45	шатун
11	40	шпонка
12	Л65	Лемех плуга
13	35	рычаг
14	45	шпиндель станка
15	65Г	Лапа культиватора
16	45	рессора
17	30	полуось
18	35	распределительный вал
19	40	шайба кулачная
20	У9	Вкладыш

3 Порядок выполнения задания

Задание: Определить режим и провести термическую обработку стали марок 30, 40 У10А для получения заданных свойств.

1. Задать способ изготовления заготовки детали. (таблица 10).
2. Изучить и охарактеризовать структуру стали после выполненных различных видов термической обработки.
3. Сделать анализ влияния термической обработки стали на ее механические свойства.
4. Установить по диаграмме состояния Fe-C температуру закалки для сталей 30,45, У10А.
5. Загрузить образцы в печь и выдержать их установленное время.

6. Перенести образцы в охлаждающую среду.
7. Зачистить торцы образцов и определить твердость образцов.
8. Представить график термической обработки.
9. Провести закалку образцов и заполнить протокол работы в таблицу 11
10. Составить отчет о проделанной работе

4 Содержание отчета

1. Теоретические сведения о термических превращениях.
2. Описание процесса термической обработки заданной вариантной детали табл.10.
3. График заключительной термической обработки.
4. Схематическое изображение микроструктур на разных этапах термической обработки.
5. Заполнить таблицу 11.
6. Выводы о полученных результатах.

Таблица 11 – Закалка образцов

№ п/п	Со- дер- жа- ние С, %	Твердость HRC							
		Воздух		Масло		Вода		Раствор	
		До ТО	После ТО	До ТО	После ТО	До ТО	После ТО	До ТО	После ТО
1									
2									
3									
4									
5									

5 Контрольные вопросы

1. От каких факторов зависит твердость феррито-цементитной смеси?
2. При какой температуре отпуска образуется структура сорбит отпуска в закаленной стали?
3. Сталь какой марки наиболее чувствительна к закалочным напряжениям?
4. Каковы параметры осей графиков термической обработки?
5. Какая структура формируется из аустенита при малых степенях его переохлаждения?
6. Какая закалочная среда имеет самую высокую скорость охлаждения.
7. В каких случаях отжиг можно заменить нормализацией?
8. Когда назначают среднетемпературный отпуск?
9. Какой отжиг назначают для устранения дендритной ликвации слитков стали?
10. Как называют мельчайшую феррито-цементитную смесь?
11. Критическая точка превращения А в П называется?
12. От чего зависит прокаливаемость сталей?
13. Что называют термическим улучшением?
14. Какие стали подвергают цементации?
15. Чем отличается сорбит от троостита отпуска?
16. Какой вид термической обработки приводит сталь в равновесное состояние?
17. Какой термической обработке подвергаются стали после цементации?
18. Какие стали практически не закаляются?
19. От чего зависит закаляемость стали?

6 Список рекомендуемых источников

1. Гуляев А.П. Металловедение.- М.: Металлургия, 2015.- 544С., С.142-160.
2. Акулов В. М Методические указания для выполнения лабораторных работ по курсу «Технология конструкционных материалов» Кустанай, 1989
3. Адашкин А.М.. Зуев В.М. Материаловедение (металлообработка) 2-е изд , М.; Издательский центр «Академия»,2003.
- 4.Борисов В.И. Лабораторией практикум по металловедению и термической обработке М., «Высшая школа», 2012.
5. Бородулин В.Н., Воробьев А.С и др.; Под.ред Филикова В А. Электротехнические и конструкционные материалы. М., Мастерство. Высшая школа, 2001
6. Некрасов С.С. Практикум по технологии конструкционных материалов М . «Колос», 1978.

Лабораторная работа № 7

Тема: Отпуск закаленной стали

Цель работы: изучение методики проведения отпуска стали, закаленной на мартенсит

1 Теоретические сведения

1.1 Особенности превращений при отпуске

Целью отпуска является снятие внутренних напряжений и получение оптимального сочетания служебных свойств. Непосредственно после закалки в связи с существенным различием удельных объемов мартенсита и аустенита сталь обладает высоким уровнем внутренних напряжений и повышенной хрупкостью. Поэтому для практического применения сталь в закаленном состоянии непригодна. В связи с этим для снижения внутренних напряжений и получения требуемых свойств обязательной операцией термической обработки после закалки является отпуск. Отпуском стали называется термическая обработка, заключающаяся в нагреве закаленного с полиморфным превращением сплава до температур, расположенных ниже температуры базового (полиморфного) превращения, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении (обычно на воздухе), и обеспечивающая получение более равновесной структуры. Основным процессом при отпуске является распад метастабильного, неравновесного твердого раствора - мартенсита с выделением карбидной фазы.

При отпуске закаленной стали, структура которой состоит из мартенсита и остаточного аустенита, различают стадию предвыделения и три превращения - распад мартенсита, распад остаточного аустенита, карбидное превращение. Температурные интервалы этих превращений весьма условны, поскольку они накладываются друг на друга, зависят от продолжительности отпуска и содержания углерода в стали. Вместе с тем на основе анализа объемных изменений при отпуске углеродистых сталей традиционно выделяют три температурных интервала и соответствующие им три превращения. Первое и третье превращения связаны с уменьшением удельного объема, а второе - с его увеличением.

Еще до начала первого превращения в мартенсите происходят изменения, связанные с перераспределением атомов углерода между междоузлиями, - образованием сегрегаций атомов углерода в виде примесных атмосфер на дефектах решетки и в виде плоских микроскоплений - кластеров. Эти процессы (так называемая стадия предвыделения) развиваются в процессе закалочного охлаждения, при нормальной (комнатной) температуре сразу после закалки и при нагреве закаленной стали до $\sim 80^{\circ}\text{C}$ (здесь и далее характерные температурные интервалы указаны для эвтектоидной углеродистой стали в случае использования традиционных режимов нагрева в электропечи). Возникновение примесных атмосфер на дефектах решетки обусловлено тем, что последние являются более выгодными местами для атомов углерода, чем

нормальные позиции этих атомов в решетке мартенсита, образование кластеров углерода можно трактовать, как зонную стадию распада твердого раствора, аналогичную концентрационному расслоению при старении закаленных без полиморфного превращения сплавов. Кластеры углерода размером 4-6 нм, располагаясь в кристаллах мартенсита определенным, закономерным образом, являются подготовленными местами для формирования карбидной фазы.

Первое превращение протекает при нагреве закаленной стали в интервале температур от ~ 80 до 200°C . При этом происходит выделение промежуточных карбидов из мартенсита - следующая после сегрегации углерода стадия структурных изменений при отпуске. Начиная с температуры $\sim 80^{\circ}\text{C}$ экспериментально обнаруживается метастабильный ϵ -карбид Fe_2C , отличающийся от цементита Fe_3C типом кристаллической решетки (гексагональная у ϵ -карбида, ромбическая у цементита). Промежуточный карбид образуется прямо из кластеров углерода путем небольшой перестройки их решетки с одновременным увеличением соотношения содержаний углерода и железа, либо выделяется независимо от кластеров углерода непосредственно из мартенсита. При низких температурах ϵ -карбид выделяется в виде очень дисперсных (10-100 нм) пластин или стержней, связанных общей кристаллографической плоскостью с решеткой мартенсита, чем и обеспечивается когерентность решеток на границе раздела фаз. С повышением температуры или увеличением продолжительности отпуска происходит укрупнение частиц ϵ -карбида. Образование метастабильного промежуточного карбида Fe_2C вместо более стабильного цементита обусловлено лучшим сопряжением мартенсита на границе с ϵ -карбидом и, как следствие, - меньшим уровнем поверхностной энергии. При температурах ниже $\sim 150^{\circ}\text{C}$, когда подвижность атомов углерода еще слишком мала, происходит так называемый «двухфазный» распад мартенсита. В тех участках, где выделился карбид, содержание углерода и, следовательно, степень тетрагональности меньше, чем в участках, не затронутых распадом. Поэтому длительное время из-за низкой скорости диффузии сосуществуют два твердых раствора с разным содержанием углерода: один с исходным, равным содержанию углерода в аустените, а другой с содержанием $\sim 0,25\%$ C. При этом двухфазный распад развивается не путем роста карбидных частиц, а в результате выделения новых частиц карбида в участках мартенсита с исходным содержанием углерода. Таким образом происходит формирование мартенсита отпуска, представляющего собой слабо пересыщенный ($\sim 0,25\%$ C) твердый раствор внедрения углерода в α -железе с когерентными (сохраняющими непрерывность атомных плоскостей) его решетке выделениями частиц ϵ -карбида. Из-за выделений карбидной фазы он отличается повышенной травимостью. Вторая стадия распада мартенсита - так называемый однофазный распад заключается в обеднении углеродом α -твердого раствора при одновременном росте карбидных частиц и протекает в интервале температур ~ 150 - 300°C . При этих температурах скорость диффузии углерода достаточна, чтобы обеспечить рост карбидных частиц при переносе атомов через α -твердый раствор. При температуре $\sim 300^{\circ}\text{C}$ в α -твердом растворе остается

около 0,1%С и рентгеноструктурный анализ не выявляет тетрагональность (с/а) α -твердого раствора. При температуре 400^oС или при более высокой α -твердый раствор освобождается от избытка углерода и тем самым заканчивается переход мартенсита в феррит.

В сталях с высокой температурой M_N частичный распад мартенсита с выделением промежуточного карбида (так называемый закалочный самоотпуск) успевает произойти во время закалочного охлаждения.

Второе превращение, аналогичное бейнитному превращению, происходит при температурах ~200-300^oС. При этом остаточный аустенит превращается в нижний бейнит- смесь несколько пересыщенной углеродом α -фазы, образуемой сдвигом, и частиц ϵ -карбида. Строго говоря, бейнит представляет собой слабопересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе с частицами ϵ -карбида.

Третье превращение, наиболее активно развивающееся при температурах 300-400^oС, заключается в завершении образования стабильного цементита Fe_3C и последующей его коагуляции. При этом цементит может выделяться либо прямо из α -твердого раствора после растворения в нем ранее образовавшегося ϵ -карбида, либо образоваться путем перестройки решетки ϵ -карбида в решетку цементита. Завершающей стадией карбидного превращения является коагуляция (увеличение размеров) и сфероидизация цементита, интенсивно развивающиеся от температуры ~350^oС. Выше температуры ~600^oС развивается только процесс коагуляции цементита, поскольку все частицы являются уже сферическими.

После отпуска при температурах 300-450^oС образуется сильно травящаяся мелкодисперсная смесь феррита и цементита, называемая трооститом отпуска. Под микроскопом заметна игольчатая предыстория феррита, обусловленная характером строения мартенсита. Дальнейшее повышение температуры приводит к развитию процессов возврата (преимущественно к уменьшению плотности дислокаций) в феррите и рекристаллизации ферритных зерен. Структура при этом теряет характерные морфологические признаки мартенсита. Поэтому полученный при температурах 450-650^oС сорбит отпуска (смесь феррита и цементита) имеет характерное зернистое (точечное) строение цементита.

Дальнейшее повышение температуры отпуска выше 650^oС (приближение к A_{C1}) приводит к дальнейшей коагуляции карбидных частиц и формированию структуры зернистого перлита.

В отличие от пластинчатых феррито-цементитных смесей (троостит, сорбит), образующихся при охлаждении из аустенита, те же структуры, формируемые при отпуске, имеют зернистое строение цементита. Форма цементита определяет различие в свойствах у одноименных структур, полученных при отпуске или сформированных после охлаждения из аустенита. Так, более высокие значения ударной вязкости и предела текучести характерны для структур с зернистым строением цементита.

Снижение внутренних напряжений происходит во всем температурном интервале отпуска и наиболее интенсивно после срыва когерентности решеток

мартенсита и цементита при температурах третьего превращения.

Увеличение температуры отпуска приводит к монотонному снижению твердости углеродистых сталей, за исключением двух температурных интервалов, характерных для высокоуглеродистых сплавов железа.

Повышение твердости в первом температурном интервале (в районе 100°C) обусловлено дисперсионным твердением мартенсита в связи с выделением дисперсных частиц карбидной фазы, а во втором ($200-250^{\circ}\text{C}$) связано с распадом остаточного аустенита.

2 Практические рекомендации

После закалки в зависимости от уровня требуемых свойств проводят низкий, средний или высокий отпуск. Основными параметрами, определяющими режим отпуска, являются температура и время нагрева. Охлаждающая среда (обычно воздух) играет второстепенную роль.

Низкий отпуск на структуру мартенсит отпуска ($150-250^{\circ}\text{C}$) широко применяют после закалки инструмента, цементованных и цианированных деталей, после поверхностной закалки деталей, содержащих $0,7-1,2\% \text{C}$. Цель низкого отпуска - уменьшение остаточных напряжений при сохранении высокой твердости, прочности и износостойкости. Время нагрева при температуре низкого отпуска обычно не превышает 1-3 ч, поскольку дальнейшее его увеличение незначительно уменьшает уровень остаточных напряжений.

Средний отпуск на троостит отпуска ($350-450^{\circ}\text{C}$) применяют для получения высокой прочности, упругости и вместе с тем достаточной вязкости. Среднему отпуску подвергают упругие детали машин и приборов - рессоры, пружины, изготовленные из сталей, содержащих $0,5-0,7\% \text{C}$.

Высокий отпуск на сорбит отпуска ($550-650^{\circ}\text{C}$) широко применяется для деталей, работающих в условиях ударных нагрузок и высоких напряжений (шатуны и шатунные болты двигателей, передние оси автомобилей и др.) и изготовленных из среднеуглеродистых сталей ($0,35-0,6\% \text{C}$). Высокий отпуск обеспечивает получение высокой вязкости, пластичности при достаточной прочности. Двойная термическая обработка - закалка и высокий отпуск называется улучшением [8].

Характер изменения механических свойств углеродистой стали в зависимости от температуры отпуска представлен на рис.33.

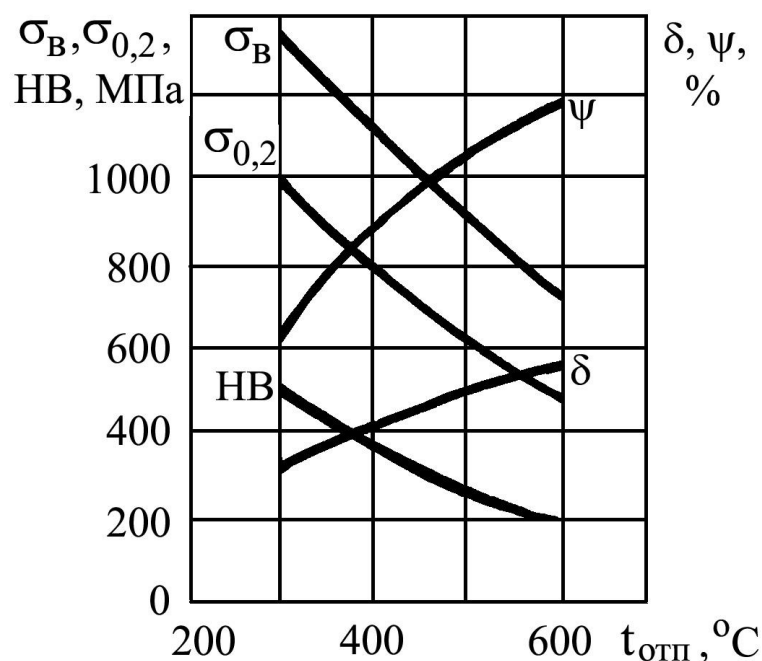


Рисунок 33 – Влияние температуры отпуска на механические свойства стали 45

3 Порядок выполнения работы

Для выполнения работы студентам предоставляют образцы закаленных сталей, печи для нагрева образцов.

Студент должен:

1. Замерить твердость закаленных образцов на приборе Роквелла;
 2. Выбрать режимы отпуска закаленной стали с целью:
 - а) снятия внутренних напряжений без снижения твердости;
 - б) получения твердости HRC 40-45;
 - в) получения твердости HRC 28-32;
 3. Произвести по выбранным режимам отпуск закаленных образцов;
 4. Замерить твердость образцов после отпуска на приборе Роквелла; результаты занести в таблицу;
 5. построить график, зависимости твердости от температуры отпуска;
- Написать отчет о проделанной работе.

Таблица 12 – Протокол исследования отпуска закаленной стали

Номер образца	Твердость после закалки, HRC	Температура отпуска, °C	Время выдержки при отпуске, мин	Твердость после отпуска, HRC	Предполагаемая микроструктура

3 Содержание отчета

1. Описать структурные превращения, протекающие в стали в зависимости от температуры отпуска, привести экспериментальные и графические данные,
2. Дать характеристику строения и свойств полученных структур.
3. Записать рекомендации по выбору режимов отпуска стали, методику выполнения работы.
4. Протокол результатов измерений твердости занести в таблицу 11.
5. Сделать выводы о проделанной работе.

5 Контрольные вопросы

1. В каких случаях применяется низкий, средний и высокий отпуск закаленной стали?
2. В каких случаях назначают среднетемпературный отпуск детали?
3. Что является целью отпуска?
4. Что является продуктом распада переохлажденного аустенита?
5. Какие виды отпуска существуют?
6. Что является продуктом распада мартенсита при различных температурах отпуска?
7. Какие превращения протекают при отпуске стали?
8. В каких случаях назначают низкотемпературный отпуск?

6 Список рекомендуемых источников

1. Арзамасов Б.И., Сидорин И.П., Косолапов Г.Ф. и др. Материаловедение / М.: Машиностроение, 1986. 384 С., С.80-109.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1984. 360 С., С.152-227.
3. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 544С., С.199-256.
4. Новиков И.И Теория термической обработки металлов. М. Металлургия, 1986. 480 С., С.123-193, 225-305, 386-415.
5. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г., Материаловедение. М.: Металлургия, 1989. 456 С., С.276-287.

Лабораторная работа № 8

Тема: Изучение микроструктуры, свойств и маркировка чугунов

Цель работы: изучение видов чугуна, их применения и маркировка, анализ фазовых равновесий диаграммы состояния Fe-C (зона чугунов)

1. Теоретические сведения

В настоящее время наиболее широкое применение в промышленности имеют железоуглеродистые сплавы - стали и чугуны. Диаграмма состояния системы железо-углерод дает представление о формировании этих сплавов, начиная от кристаллизации из жидкости и кончая процессами фазовой перекристаллизации в твердом состоянии. Кроме того, диаграмма состояния железо-углерод позволяет оценить структуру сталей и чугунов в равновесных условиях, определяющую многие их свойства; установить температуру нагрева при термической обработке и решить целый ряд других задач.

Различают чугуны эвтектический (4,3% C), доэвтектический (2,14-4,3% C) и заэвтектический (более 4,3% C). Эвтектический чугун (сплав 10, см. рис.34) в процессе кристаллизации распадается с образованием смеси аустенита состава точки E и цементита. Такое превращение называется эвтектическим, а продукт превращения - смесь цементита и аустенита - ледебуритом (эвтектикой). Эвтектическое превращение, будучи трехфазным, согласно правилу фаз протекает при постоянной температуре (рис.35). В соответствии с линией ES из аустенита ледебурита при охлаждении в интервале 1147-727°C выделяется вторичный цементит и при температуре 727°C превращается в перлит [6].

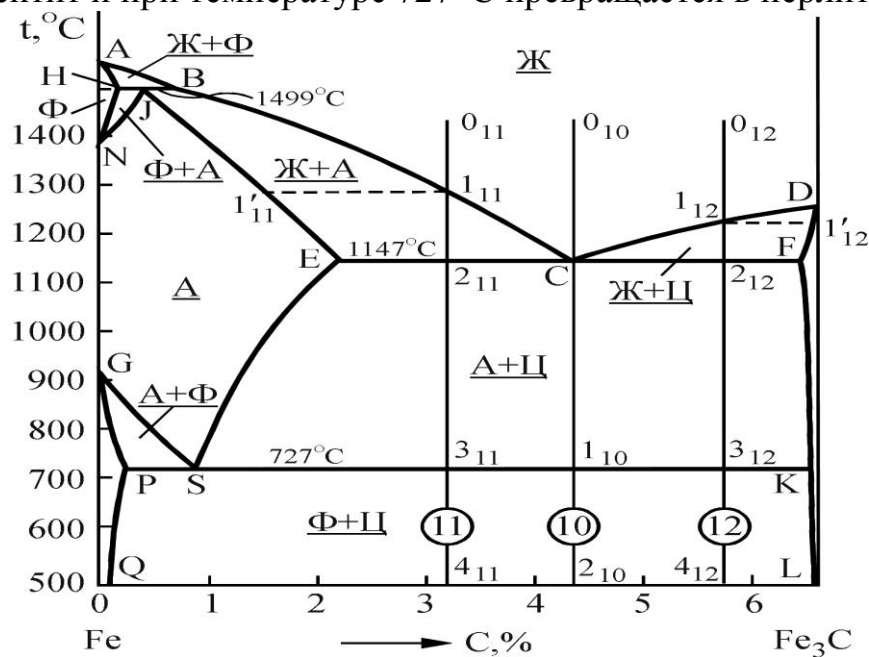


Рисунок 34 – Диаграмма состояния системы железо-цементит

В доэвтектическом чугуне (см. рис.34., сплав 11) описанным

превращениям предшествует первичная кристаллизация с образованием аустенита (рис.36). В заэвтектическом чугуна (см. рис.34, сплав 12) продуктом первичной кристаллизации является цементит (рис.37). При этом на уровне температур 1147°C жидкость в смесях Ж+А и Ж+Ц приобретает эвтектический состав и превращается в ледебурит.

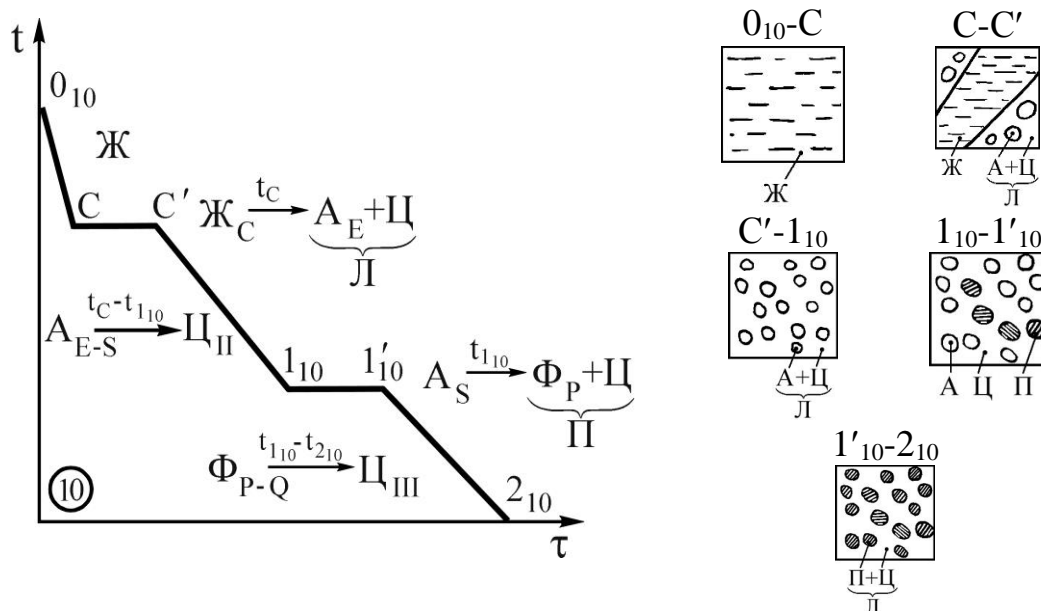


Рисунок 35 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 10

Таким образом, кристаллизация всех сплавов в интервале содержания углерода от 2,14 до 6,67% завершается эвтектическим превращением при одинаковой температуре на линии ECF – 1147°C (см. рис.24), всем чугунам свойственно также выделение из аустенита вторичного цементита в интервале $1147-727^{\circ}\text{C}$, протекание эвтектоидного превращения при температуре 727°C и выделение ферритом третичного цементита ниже 727°C . Формирование структуры чугуна при охлаждении из жидкого состояния сопряжено с протеканием двух нонвариантных превращений эвтектического и эвтектоидного. Поэтому на кривых охлаждения образуются две изотермические площадки при температурах 1147°C и 727°C (см. рис.35-37).

Структура эвтектического чугуна при нормальной температуре представлена ледебуритом, доэвтектического - ледебуритом и перлитом, заэвтектического - ледебуритом и первичным цементитом.

Диаграмма состояния железо-цементит содержит информацию о фазовом состоянии различных сталей и чугунов. Наряду с этим она позволяет решать задачи, связанные с определением состава фаз и количественного соотношения фаз.

$0_{11}-1_{11}$

$1_{11}-2_{11}$

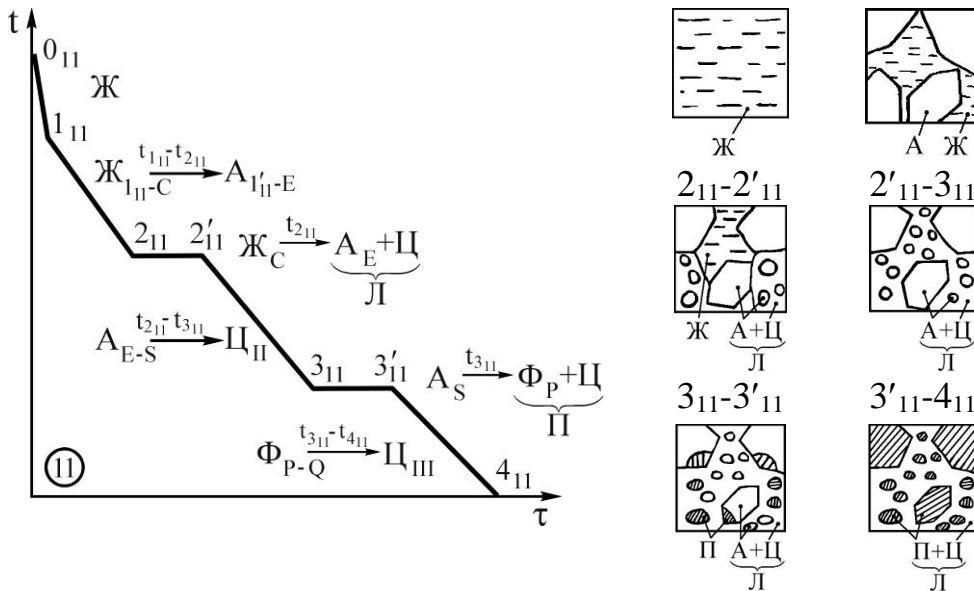


Рисунок 36 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 11

Например, сплав 11 (см. рис.34) при температуре точки 3_{11} содержит феррит состава точки Р и цементит состава точки К. При этом количество феррита равно $3_{11}К/РК$, а цементита - $Р3_{11}/РК$.

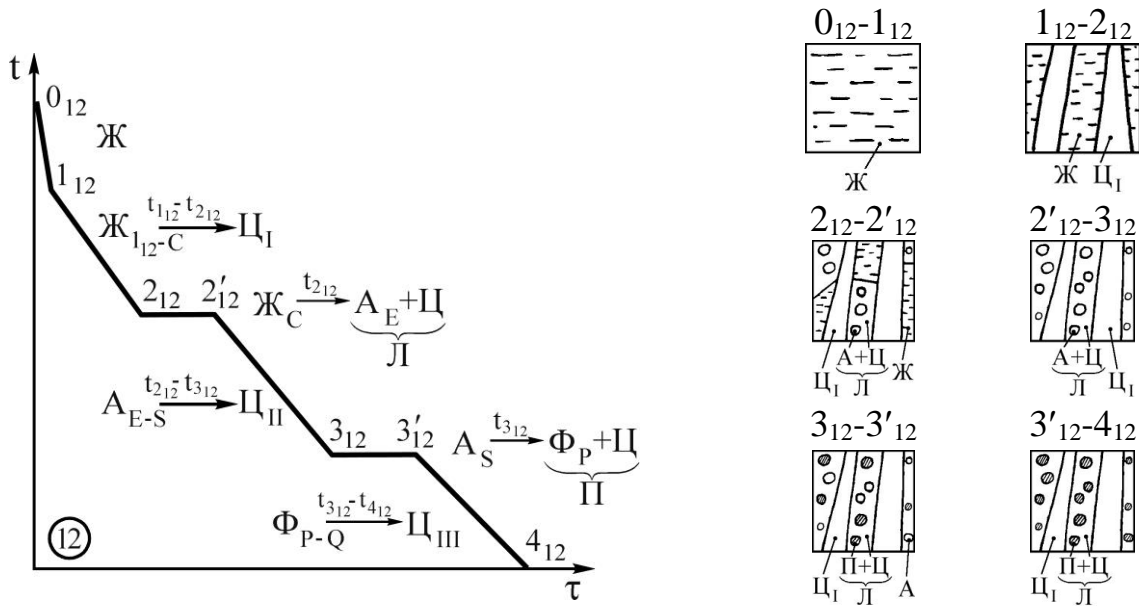


Рисунок 37 – Кривая охлаждения, фазовые реакции и схемы структур на всех этапах охлаждения сплава 12

2 Классификация и маркировка чугунов

Серые чугуны маркируют буквами СЧ, затем ставят два двухзначных числа: показывает предел прочности при растяжении, второе первое число – предел прочности при изгибе. Например, СЧ12-28, СЧ15 – 32 и т.д.

Высокопрочные чугуны маркируют буквами ВЧ, затем ставят два двухзначных числа: первое показывает предел прочности при растяжении, второе – относительное удлинение. Например, ВЧ38-17, ВЧ42-12 и т.д.

Ковкие чугуны маркируют буквами КЧ, затем ставят два двухзначных числа: первое показывает предел прочности при растяжении, второе – относительное удлинение. Например, КЧ30-6, КЧ35-10, КЧ63-2 и т.д.

Легированные чугуны. Свойства чугунов по аналогии со сталью можно улучшить легированием специальными элементами, такими же, какие используются при легировании стали. Легирующие элементы влияют на металлическую основу чугуна, а также на характер и размеры графитных включений, способствуют измельчению структуры. Назначение легированных чугунов самое различное. Чугуны применяют износостойкие, жаростойкие, жаропрочные, коррозионностойкие, антифрикционные.

Буквы справа от цифр означают:

Ю- алюминий	Д- медь
К- кобальт	Б- ниобий
Н- никель	Ф- ванадий
Х- хром	А- азот
С- кремний	Г- марганец
Р- бор	Е- селен
М- молибден	Т- титан
В- вольфрам	Ц- цирконий

Износостойкие чугуны. Для работы в условиях абразивного износа применяют чугун, содержащий 3,5—5% Ni; 0,8% Cr, обладающий удовлетворительной износостойкостью при легких условиях работы (рабочие органы насосов и др.). Чугуны для работы в условиях сухого трения в основном легированы хромом (до 0,6%) и никелем (до 2,5%) с добавками таких элементов, как титан, медь, вольфрам, молибден. Из таких чугунов изготавливают тормозные барабаны автомобилей, диски сцепления, суппорты токарных станков, гильзы цилиндров и др. Высокой износостойкостью обладает высокохромистый чугун, например, марки ИЧХ12Г3М (12—14%Cr; I 2,8—3,8% Mn; 0,4—0,8% Mo), применяемый для дробильных валцов, шаров шаровых мельниц и др.

Жаростойкие чугуны. К ним относится хромистый чугун с содержанием хрома от 0,5 до 30%; например: чугун марки ЖЧХ-30 (28—32% Cr), применяемый для деталей печей и вагранок, фурм и других деталей, работающих при высоких температурах (до 900°C); кремнистый чугун марки ЖЧС-5,5 (5—6% Si), применяемый для изготовления деталей, работающих при температурах до 800°C, для рам дверок мартеновских печей, деталей котлов и др.; алюминиевый чугун марки ЖЧЮ-22 (19—25% Al), обладающий наиболее высокой жаростойкостью и применяемый для деталей, работающих при температурах до 1150°C (шлаковые фурмы доменных печей, плавильные тигли и др.).

Жаропрочные чугуны. К ним относится, например, чугун с шаровидным графитом марки ЧН11Г7Х2Ш (10—12% Ni; 5—8% Mn; 1—2,5% Cr)

обладающий высокими жаропрочными свойствами и применяемый для деталей дизелей, компрессоров по сжижению газов и др.

Коррозионностойкие чугуны. Эти чугуны бывают низко- и высоколегированные. Низколегированный чугун, например, марки ЧН1ХМД (0,7–1,5% Ni; 0,2–0,6% Cr; 0,3–0,6% Mo; 0,2–0,5% Cu) применяют для деталей, работающих при повышенных температурах в газовых средах (блоки и головки цилиндров двигателей внутреннего сгорания и др.). Высоколегированные чугуны — это кремнистые сплавы (ферросилиды), содержащие 14–18% Si (например, марка С17), стойкие во всех кислотах и щелочах. Их применяют для изготовления деталей насосов, оборудования для концентрированных серной и азотной кислот и др [7].

3 Порядок выполнения работы

1. Изучить диаграмму состояния системы Fe-C (зона чугунов).

2. Выполнить анализ процесса кристаллизации железоуглеродистого сплава, приведенного в таблице 13:

- построить диаграмму состояния Fe-C (зона чугунов), указать на ней фазовые области и провести линию состава заданного сплава;

- построить кривую охлаждения;

- проверить, используя правило фаз Гиббса, правильность построения кривой охлаждения;

- описать превращения, происходящие при охлаждении сплава,

- привести уравнения фазовых реакций;

- изобразить структуру сплава для каждого этапа охлаждения;

- определить состав и количественное соотношение фаз при заданной в таблице температуре.

-) Составить отчет о выполненной работе.

4 Содержание отчета

1. Основные теоретические сведения о диаграмме состояния системы Fe-C (зона чугунов)

2. Анализ процесса кристаллизации одного железоуглеродистого сплава в равновесных условиях

3. Таблица фазовых превращений, графики кривой охлаждения, согласно варианта в табл. 13

4. Зарисовать микроструктуру для каждого этапа охлаждения.

5. Расшифровать марки чугунов согласно табл. 14

6. Выводы о полученных результатах

Таблица 13 – Исходные данные для анализа процесса кристаллизации железоуглеродистых сплавов в равновесных условиях

Номер варианта	Содержание углерода, в сплаве, %
1	2,5
2	3,0
3	3,5
4	4,3
5	5,0
6	5,5
7	6,0
8	2,6
9	3,2
10	4,2
11	5,2
12	5,8
13	3,4
14	3,8
15	4,25

Таблица 14 – Варианты заданий для расшифровки марок чугуна

№ варианта	Чугуны
1	Л5; Л1; КЧ65-3; СЧ35; ЛР7; ЧНХМД; ЛР6; ЛР5; КЧ70-2; Л4; Л2;
2	АЧС-1; КЧ80-1.5; АЧК-1; ЧН2Х; ЧНМШ; АЧК-2; ЧН3ХМДШ
3	ПФ2; ЛР2; КЧ30-6; КЧ35-10; ПЛ1; ПЛ2; ПФ3; КЧ33-8; ПФ1;
4	ЧЮХШ; ЧХ3Т; ЧХ16; ЧХ3; ЧН19Х3Ш; ЧН15Д7; ЧН20Д2Ш; L-NiMn13-7
5	ЧХ2; П2; ПВК; ЧНХТ; СЧ20; П1; ЧНХМДШ; ЧС5; ЧС5Ш; ЧХ1;
6	ЛР1; L-Ni35; ЧХ9Н5; ЛР3; СЧ15; АЧВ-1; ЛР4 СЧ10; ЧЮ22Ш;
7	L-NiCuCr15-6-3;; ВЧ100; АЧС-3; ЧХ16М2; S-Ni226; ЧС13; L-NiSiCr20-5-3;
8	ВЧ40; ВЧ35; ЧВГ45; ВЧ50; ЧВГ30; ВЧ45; ЧВГ35; ЧЮ6С5 ЧВГ40;
9	ЧХ28П; L-NiCuCr15-6-2; ЧХ32 L-NiCr30-3; L-NiCr20-3%; L-NiCr20-2;
10	ЧН11Г7Ш; Л3; ЧН15Д3Ш ЧГ8Д3; ЧГ6С3Ш; ПВК3; ПВК2; ЧГ7Х4;
11	ЧЮ30; СЧ25; СЧ30; Л6 ; АЧС-2; АЧС-3; АЧС-4; АЧС-5; ЧН15Д3Ш
12	ЧН4Х2; L-NiSiCr30-5-5 ЧХ22; ЧХ22С; ЧХ28; ЧХ28Д2; ЧЮ7Х2;
13	ЧС15М4; КЧ37-12; КЧ45-7; ЧС17; ЧС15; ЧС17М3 ЧН15Д3Ш
14	КЧ55-4; ; ЧН15Д3Ш КЧ60-3; ВЧ70; КЧ50-5 ВЧ60; ВЧ80; АЧВ-2;
15	ЧГ6С3Ш; ПВК2; ЧГ7Х4; Л3; ЧГ8Д3; ЧН15Д3Ш ЧН11Г7Ш; ПВК3;

5 Контрольные вопросы

1. В чем разница между цементитом первичным и вторичным?
2. Как на диаграмме обозначаются: линия ликвидус, линия солидус, линии нонвариантных реакций?
3. Какую кристаллическую решетку имеет α -железо, γ -железо?

4. Какое структурное состояние имеет доэвтектический, эвтектический, заэвтектический чугун при нормальной температуре?
5. Напишите уравнения неинвариантных реакций.
6. Что такое серый чугун? Какова его структура?
7. Какова структура белого чугуна?
8. Укажите фазовое состояние в различных областях диаграммы.
9. Что называется чугуном?
10. Назовите области применения чугунов.

6 Список рекомендованных источников

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001.-920 с., ил.
2. ГОСТ 7769 –82 Чугун легированный для отливок со специальными свойствами, ГОСТ 1585-85 Чугун антифрикционный для отливок., ГОСТ 7293-85 Чугун с шаровидным графитом для отливок., ГОСТ 1215-85 Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия., ГОСТ 1412-85 Чугун с пластинчатым графитом для отливок.
3. Журавлев В.Н., Николаев О.И. Машиностроительные стали. Справочник.- 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992, 480с., ил.

Лабораторная работа №9

Тема: Изучение классификации сталей и их маркировка

Цель работы: ознакомление с государственными стандартами, изучение промышленной классификации сталей, маркировок и области применения.

1 Теоретические сведения

На долговечность деталей, инструментов, машин, аппаратов и сооружений, применяемых в нефтегазовой, химической и автомобильной промышленности, влияет правильный выбор материала для их изготовления, а так же технологический процесс его обработки.

Разнообразные условия работы деталей, машин и оборудования вызывают необходимость искать критерии рационального выбора материалов, методы их упрочнения и т.п., а в ряде случаев создавать новые типы сплавов и неметаллических материалов. В настоящее время для изготовления деталей машин и конструкций используются металлы и их сплавы, металлические и металлокерамические порошки, пластмассы, резина, стекло, керамика, древесные и другие неметаллические вещества.

Наиболее широкое распространение в качестве конструкционных материалов получили металлы и их сплавы, поэтому в настоящей работе рассмотрены только стали, чугуны и некоторые цветные металлы и сплавы.

1.1 Классификация и маркировка черных металлов и сплавов.

Представителями черных металлов и сплавов являются сплавы железа и углерода: стали и чугуны. Сталями называют «сплавы с содержанием углерода до 2,14 %, а чугунами называют сплавы с содержанием углерода от 2,14% до 6,67%. Кроме основных компонентов (железо и углерод) в состав сталей и чугунов входят примеси: марганец, кремний, сера и фосфор. А также сплавы могут содержать специально введенные элементы, которые служат для улучшения физико-химических и механических свойств. Такие элементы называют легирующими». [10]

1.2 Классификация и маркировка сталей.

Стали классифицируют по химическому составу, назначению, степени раскисления и качеству.

По химическому составу различают углеродистые (ГОСТ 380-71, ГОСТ 1050-75) и легированные (ГОСТ 4543-71, ГОСТ 5632-72, ГОСТ 14959-79) стали.

Углеродистые стали могут быть:

- низкоуглеродистые, содержание углерода менее 0,25%;
- среднеуглеродистые, содержание углерода 0,25-0,60%;
- высокоуглеродистые, содержание углерода свыше 0,60%.

Легированные стали подразделяют на:

- низколегированные, содержание легирующих элементов до 2,5%;
- среднелегированные, в их состав входят от 2,5 до 10% легирующих элементов;
- высоколегированные, которые содержат свыше 10% легирующих элементов.

По назначению стали бывают:

- конструкционные, (изготовление строительных и машиностроительных изделий);
- инструментальные, (режущий, мерительный, штамповый и прочие инструменты).
- с особыми физическими свойствами (с определенными магнитными характеристиками или малым коэффициентом линейного расширения: электротехническая сталь, суперинвар);
- с особыми химическими свойствами, (нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные, кислотостойкие стали).

По степени раскисления стали классифицируют на спокойные, кипящие и полуспокойные.

Раскисление – это процесс удаления из жидкого металла кислорода, проводимый для предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации.

Спокойные стали - это полностью раскисленные; такие стали обозначаются буквами «сп» в конце марки (иногда буквы опускаются).

Кипящие стали - слабо раскисленные; маркируются буквами «кп».

Полуспокойные стали, занимают промежуточное положение между двумя предыдущими; обозначаются буквами «пс».

По качеству стали подразделяют в зависимости от содержания вредных примесей: серы и фосфора.

Бывают:

- стали обыкновенного качества, содержание до 0,06% серы и до 0,07% фосфора;
- качественные - до 0,035% серы и фосфора, каждого отдельности;
- высококачественные - до 0,025% серы и фосфора;
- особовысококачественные, до 0,025% фосфора и до 0,015% серы.

Сталь обыкновенного качества подразделяется по поставкам на 3 группы:

- сталь группы «А» поставляется потребителям по механическим свойствам (такая сталь может иметь повышенное содержание серы или фосфора);
- сталь группы «Б»- по химическому составу;
- сталь группы «В» - с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

Сталь каждой группы делится на категории, в зависимости от нормируемых показателей (предел прочности σ_B , относительное удлинение $\delta\%$, предел текучести σ_T). Категории обозначаются арабскими цифрами.

Стали обыкновенного качества обозначают буквами «Ст» и условным номером марки (от 0 до 6) в зависимости от химического состава и механических свойств. Чем выше содержание углерода и прочностные свойства стали, тем больше её номер. Буква «Г» после номера марки указывает на повышенное содержание марганца в стали. Перед маркой указывают группу стали, причем группа «А» в обозначении марки стали не ставится. Для указания категории стали в конце обозначения марки добавляют номер, соответствующий категории (первую категорию обычно не указывают) [9].

Например:

БСт0 - углеродистая сталь обыкновенного качества, номер марки 0, группы «Б», первой категории (стали марок Ст0 и Бст0 по степени раскисления не разделяют);

Ст3кп2 - углеродистая сталь обыкновенного качества, кипящая, номер марки 3, второй категории, поставляется потребителям по механическим свойствам (группа «А»);

ВСт4Г - углеродистая сталь обыкновенного качества с повышенным содержанием марганца, спокойная, номер марки 4, первой категории с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа «В»).

Качественные углеродистые стали маркируют следующим образом:

в начале марки указывают содержание углерода в сотых долях процента (цифра соответствует его средней концентрации) для сталей конструкционных:

10кп – сталь углеродистая качественная, кипящая, содержит 0,1% углерода;

80 - сталь углеродистая качественная, спокойная, содержит 0,8% углерода; *в десятых долях процента для инструментальных сталей, которые дополнительно снабжаются буквой «У»:*

У7 – углеродистая инструментальная, качественная сталь, содержащая 0,7% углерода, спокойная (все инструментальные стали хорошо раскислены);

У10 - углеродистая инструментальная, качественная сталь, спокойная содержит 1,0% углерода;

В основу маркировки качественных легированных сталей положена буквенно-цифровая система (ГОСТ 4543-71).

Легирующие элементы, входящие в состав стали, обозначают русскими буквами[10]:

А – азот	К – кобальт	Т – титан
Б – ниобий	М – молибден	Ф- ванадий
В – вольфрам	Н – никель	Х – хром
Г – марганец	П – фосфор	Ц – цирконий
Д – медь	Р – бор	Ч– редкоземельные металлы
Е – селен	С – кремний	Ю – алюминий

Количество углерода, как и при обозначениях углеродистых сталей указывается в сотых долях процента цифрой, стоящей в начале обозначения; количество легирующего элемента указывается цифрой, стоящей после соответствующего индекса. Отсутствие цифры после индекса элемента указывает на то, что его содержание 0,8-1,5%, за исключением молибдена и ванадия (содержание которых в солях обычно до 0,2-0,3%), а также бора (в стали с буквой Р его должно быть не менее 0,0010%).

Например:

09Г2С – качественная низколегированная сталь, спокойная, содержит приблизительно 0,09% углерода, до 2,0% марганца и около 1,5% кремния;

18ХЗН4М4 – качественная высоколегированная сталь, спокойная содержит 0,18% углерода, 3,0% хрома, 4,0% никеля, 4,0% молибдена.

Высококачественные и особовысококачественные стали маркируют, так же как и качественные, но в конце марки высококачественной стали ставят букву «А», (эта буква в середине марочного обозначения указывает на наличие азота, специально введённого в сталь), а после марки особовысококачественной - через тире букву «Ш».

Например:

12ХНА – высококачественная углеродистая сталь, содержащая 0,12% углерода, хрома и никеля в среднем 0,8-1,5% каждого в отдельности;

У8А – высококачественная углеродистая инструментальная сталь, с содержанием углерода 0,8%;

30ХГС-Ш – особовысококачественная среднелегированная сталь, содержащая 0,30% углерода, хрома, марганца и кремния от 0,8 до 1,5% каждого в отдельности.

Специальные методы получения высоколегированных сталей обозначают соответствующими буквами, проставляемыми через тире в конце марки: ВД – вакуумно-дуговой переплав, Ш – электрошлаковый переплав, СШ – обработка синтетическим шлаком и др.

Отдельные группы сталей со специальными свойствами обозначают несколько иначе.

Шарикоподшипниковые стали маркируют буквами «ШХ», после которых указывают содержание хрома в десятых долях процента:

ШХ6 - шарикоподшипниковая сталь, содержащая 0,6% хрома;

ШХ15ГС - шарикоподшипниковая сталь, содержащая 1,5% хрома и от 0,8 до 1,5% марганца и кремния.

Быстрорежущие стали (сложнолегированные) обозначают буквой "Р", следующая за ней цифра указывает на процентное содержание в ней вольфрама:

Р18-быстрорежущая сталь, содержащая 18,0% вольфрама;

Р6М5К5-быстрорежущая сталь, содержащая 6,0% вольфрама 5,0% молибдена 5,0% кобальта.

Автоматные стали обозначают буквой «А» и цифрой, указывающей среднее содержание углерода в сотых долях процента:

А12 - автоматная сталь, содержащая 0,12% углерода (все автоматные стали имеют повышенное содержание серы и фосфора);

А40Г - автоматная сталь с 0,40% углерода и повышенным до 1,5% содержанием марганца.

Литейные стали имеют в конце маркировки букву «Л»:

30Л – литейная качественная среднеуглеродистая сталь, спокойная, содержащая 0,30% углерода.

Таблица 15 – Назначение сталей [11]

Наименование	Примеры марок	Назначение
Углеродистые конструкционные обыкновенного качества	Ст0-Ст6, Ст2кп, Ст3сп, ВСт3пс2	Используется в строительстве, в машиностроении в виде поковок, листов, проволоки, метизов и т.п.
Углеродистые конструкционные качественные	05кп, 05, 08кп, 15, 25	Кронштейны, гайки, шурупы, пальцы, оси, болты, валы, шпильки и т.д.
Автоматные углеродистые	А11, А12, А20, А30	Предназначены для изготовления деталей массового производства на станках автоматах: винты, гайки, оси, валики, шестерни и т.д.
Подшипниковые	ШХ15, ШХ15СГ	Кольца шарико- и роликоподшипников, клапаны, подшипники нефтяного оборудования, работающие в воде и т.д.
Рессорно-пружинные	65, 65Г, 70Г, 80	Пружины различных механизмов и машин
Стали для северных регионов	09Г2С, 10Г2С, 14Г2АФД	Детали машин и механизмов, работающие в условиях низких температур; Несущие элементы конструкций.
Инструментальные для режущего, измерительного, для штампов	У7, У7А У12, У12А	Зубила, отвертки, молотки, кувалды, центры токарных станков, резцы для твердых металлов, для сверл, напильников, фрез, метчиков и др.; Штангенциркули, линейки. Штампы.

2 Порядок выполнения работы

1. Изучить стандарты на металлы и сплавы.
2. Изучить образцы металлов и сплавов, их свойства и определить область применения.
3. Определить назначение образца (таблица 15).
4. Расшифровать марки сталей, приведенных в таблице 16
5. Составить отчет по выполненной работе.

3 Содержание отчета

1. Изучение теоретических сведений о классификации сталей, определении их марок;
2. Схема «Классификация сталей»
3. Расшифровка марок сталей, согласно варианта в табл. 16
4. Выводы о проделанной работе.

Таблица 16 – Варианты марок конструкционных материалов

№ варианта	Марки конструкционных материалов
1	60, У7, ВСт3кп2, Р9, 08Х20Н14С2, Сталь 35, У13А, 10,
2	50Г, ВСт4пс2, 38Х2МЮА, У7, У13А, ВСт5сп, 14Г2АФ,
3	20Х12ВНМФ, А11, 25пс, У8, У12А 12ХН3А,
4	31Х19Н9М8ВТ, Р9, 45, БСт6сп У7, У13А, 20ХН4ФА,
5	30ХГСНА, 45ХН3МФ-Ш, Сталь15, У11, А11, 50, 40,
6	ВСт3пс, ШХ15ГС, 12Х18Н9Т, А20, 40ХМФА, А30, Р6М3Ф2,
7	45ХН3МФ-Ш, У13А, У7, ВСт5сп, Р6М2Ф3, 14Г2АФ,
8	36Х18Н25С2, А30, ВСт2кп6, БСт3пс, Р12, 13Х14НВ2ФР,
9	У13А, У7, Ст5пс3, ШХ6, БСт3Г, Сталь15, 40, 09Х16Н4Б, 50
10	Р12, У7, У13А, 45ХН3МФ-Ш, 13Х14НВ2ФР, Ст5пс3,
11	40, 50, Сталь15, 11Х11Н2В2МФ, Х12Ф1, ШХ30, У11,
12	А11, 25пс, Р6М5Ф2К8, 25ХГСА, 20Х12ВНМФ, 50,
13	БСт1, 12Х2НВФА, У7, У13А, СТ5пс, 35ХГСЛ Р6М3Ф2, 50ХГ,
14	16Х11Н2ВМФ, ВСт3Гпс, 18Х2Н4ВА, А40Г, ШХ15,
15	Ст0, 30Х13, ШХ6, 30ХГСНА, СТ0, 40ХНМА, 10Г2А
16	12Х2НВФА, ШХ9, 60, 35ХГСЛ 20пс, 45ХН3МФА, 35, Сталь10,
17	14Г2АФ, 20Х, Р12, Р6М2Ф3, ВСт3пс, ВСт5сп, У7, У13А
18	Р6М2Ф3, 36Х18Н25С2 30пс, У10А, 08Х18Т1,
19	БСт5сп, СТ2кп, СТ1кп, У13А, 15Х6СЮ, 30Х3МФ, Р6М5,
20	А30, Р6М3Ф2, 35ХГСЛ, 12Х2НВФА, БСт1пс 40ХМФА,
21	36Х18Н25С2, БСт2пс2, 08, У13, 55, 45Х22Н4М3, 20,
22	40ХГТР, 35, Р6М5Ф2К8, ШХ9, Сталь10, 60, 15Х7Н2Т-Ш,
23	Ст6, У7, У13А, 10Х17Н13М2Т, 50 А20, 40, Сталь15,
24	Ст5Гпс3, 15кп, БСт1кп, СТ6кп, 25Х13Н2, 38ХН3МФА
25	ШХ15, 07Х25Н13, У9, У11А, 36Х18Н25С2, У9,

4 Контрольные вопросы

1. Какая сталь называется легированной?
2. Классификация сталей по содержанию легирующих элементов.
3. Влияние легирующих элементов на свойства стали
4. Что такое сталь?
5. Какая сталь называется углеродистой?
6. Как классифицируются углеродистые стали по качеству?

5 Список рекомендованных источников

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 2001.-920 с., ил.
2. ГОСТ 5632-2014 Нержавеющие стали, ГОСТ 4543-2016Metalлопродукция из конструкционной легированной стали., ГОСТ 1050-75 Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей., ГОСТ 14959-79 Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали., ГОСТ 380-88 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки,
3. Журавлев В.Н., Николаев О.И. Машиностроительные стали. Справочник.- 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992, 480с., ил.

Лабораторная работа 10

Тема: Изучение промышленной классификации твердых сплавов и их маркировка

Цель работы: изучение классификации твердых сплавов, определение марок и области применения

1. Теоретические сведения

Твердые сплавы являются основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку материалов резанием. Сейчас общее количество твердосплавного инструмента, применяемого в механообрабатывающем производстве, составляет до 30%, причем этим инструментом снимается до 65% стружки, так как скорость резания, применяемая при обработке этим инструментом в 2-5 раз выше, чем у быстрорежущего инструмента.

Твердые сплавы получают методами порошковой металлургии в виде пластин. Основными компонентами таких сплавов являются карбиды вольфрама WC, титана TiC, тантала TaC и ниобия NbC, мельчайшие частицы которых соединены посредством сравнительно мягких и менее тугоплавких связей из кобальта или никеля в смеси с молибденом.

Твердые сплавы по составу и областям применения можно разделить на четыре группы:

- вольфрамокобальтовые (WC-Co),
- титановольфрамокобальтовые (WC-TiC-Co),
- титанотанталовольфрамокобальтовые (WC-TiC-TaC-Co),
- безвольфрамовые (на основе TiC, TiCN с различными связками).

1.1 Вольфрамокобальтовые сплавы (ВК)

Вольфрамокобальтовые сплавы (группа ВК) состоят из карбида вольфрама(WC) и кобальта. Сплавы этой группы различаются содержанием в них кобальта, размерами зерен карбида вольфрама и технологией изготовления табл. 17. Для оснащения режущего инструмента применяют сплавы с содержанием кобальта 3-10%.

В условном обозначении сплава цифра показывает процентное содержание кобальтовой связки.

Например обозначение ВК6 показывает, что в нем 6% кобальта и 94% карбидов вольфрама.

Таблица 17 - Состав и характеристики основных физико-механических свойств сплавов, на основе WC-Co (группа BK)

Сплав	Состав сплава, %			Характеристики физико-механических свойств		
	W C	TaC	Co	Предел прочности при изгибе сизг, Мпа, не менее	Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	HRA, не менее
BK3	97	-	3	1176	15,0-15,3	89,5
BK3-M	97	-	3	1176	15,0-15,3	91,0
BK4	96	-	4	1519	14,9-15,2	89,5
BK6	94	-	6	1519	14,6-15,0	88,5
BK6-M	94	-	6	1421	14,8-15,1	90,0
BK6-OM	92	2	6	1274	14,7-15,0	90,5
BK8	92	-	8	1666	14,4-14,8	87,5
BK10	90	-	10	1764	14,2-14,6	87,0
BK10-M	90	-	10	1617	14,3-14,6	88,0
BK10-OM	88	2	10	1470	14,3-14,6	88,5

Из всех существующих твердых сплавов, сплавы группы BK при одинаковом содержании кобальта обладают более высокими ударной вязкостью и пределом прочности при изгибе, а также лучшей тепло- и электропроводностью. Однако стойкость этих сплавов к окислению и коррозии значительно ниже, кроме того, они обладают большой склонностью к схватыванию со стружкой при обработке резанием. При одинаковом содержании кобальта физико-механические и режущие свойства сплавов в значительной мере определяются средним размером зерен карбида вольфрама (WC). Разработанные технологические приемы позволяют получать твердые сплавы, в которых средний размер зерен карбидной составляющей может изменяться от долей микрометра до 10-15 мкм.

Сплавы с размерами карбидов от 3 до 5 мкм относятся к крупнозернистым и обозначаются буквой В (BK6-B), с размерами карбидов от 0,5 до 1,5 мкм буквой М (мелкозернистым BK6-M), а с размерами, когда 70% зерен менее 1,0 мкм – OM (особо мелкозернистым BK6-OM). Сплавы с меньшим размером карбидной фазы более износостойкие и теплостойкие, а также позволяют затачивать более острую режущую кромку (допускают получение радиуса округления режущей кромки до 1,0-2,0 мкм), KC – средней зернистости, BK – особо крупнозернистые. [10]

Физико-механические свойства сплавов определяют их режущую способность в различных условиях эксплуатации.

С ростом содержания кобальта в сплаве его стойкость при резании снижается, а эксплуатационная прочность растет.

Эти закономерности и положены в основу практических рекомендаций по рациональному применению конкретных марок сплавов. Так, сплав BK3 с минимальным содержанием кобальта, как наиболее износостойкий, но наименее прочный рекомендуется для чистовой обработки с максимально допустимой скоростью резания, но с малыми подачей и глубиной резания, а сплавы BK8,

ВК10М и ВК10-ОМ – для черновой обработки с пониженной скоростью резания и увеличенным сечением среза в условиях ударных нагрузок.

1.2 Титановольфрамокобальтовые сплавы (ТК).

Сплавы второй группы ТК состоят из трех основных фаз: твердого раствора карбидов титана и вольфрама (TiC-WC) карбида вольфрама (WC) и кобальтовой связки. Предназначены они главным образом для оснащения инструментов при обработке резанием сталей, дающих сливную стружку. По сравнению со сплавами группы ВК они обладают большей стойкостью к окислению, твердостью и жаропрочностью и в то же время меньшими теплопроводностью и электропроводностью, а также модулем упругости.

Способность сплавов группы ТК сопротивляться изнашиванию под воздействием скользящей стружки объясняется также и тем, что температура схватывания со сталью у сплавов этого типа выше, чем у сплавов на основе WC-Co, что позволяет применять более высокие скорости резания при обработке стали и существенно повышать стойкость инструмента.

В табл. 18 приведены состав и характеристики основных физико-механических свойств сплавов в соответствии с ГОСТ 3882-74.

Таблица 18 - Состав и характеристики физико-механических свойств сплавов на основе WC-TiC-Co, группа ТК[6]

Сплав	Состав, %			σизг, МПа	Плотность ρ·10 ⁻³ , кг/м ³	HRA не менее
	WC	TiC	Co			
T30K4	66	30 -	4	980	9,5-9,8	92,0
T15K6	79	15 -	6	1176	11,1-11,6	90,0
T14K8	78	14 -	8	1274	11,2-11,6	89,5
T5K10	85	6 -	9	1421	12,4-13,1	88,5
T5K12	83	5 -	12	1666	13,1-13,5	87,0

Так же как у сплавов на основе WC-Co, предел прочности при изгибе и сжатии и ударная вязкость увеличиваются с ростом содержания кобальта.

Такие сплавы, как T30K4 и T15K6, применяют для чистовой и получистовой обработки стали с высокой скоростью резания и малыми нагрузками на инструмент. В то же время сплавы T5K10 и T5K12 с наибольшим содержанием кобальта предназначены для работы в тяжелых условиях ударных нагрузок с пониженной скоростью резания.

Путем введения легирующих добавок получены сплавы, применяемые для резания стали с большими ударными нагрузками.

Разработан сплав T4K8 для замены стандартного сплава T5K10. Предел прочности его при изгибе 1600 МПа, в то время как у сплава T5K10 он составляет 1400 МПа. Предельная пластическая деформация T4K8 1,6%, а у сплава T5K10 – 0,4%.

Сплав T4K8 в большей степени, чем сплав T5K10, сопротивляется ударным

нагрузкам и может применяться при черновой токарной обработке стальных отливок при скорости резания 30-70 м/мин, глубине резания до 40 мм и подаче 1-1,2 мм/об. Стойкость инструмента, оснащенного сплавом Т4К8 в 1,5-2,0 раза выше, чем стойкость инструмента, оснащенного сплавом Т5К10.

Пример: Т15К6- содержит 15 % TiC, 6 % Co и 79 % WC

1.3 Титанотанталовольфрамкобальтовые сплавы (ТТК).

Промышленные танталосодержащие твердые сплавы на основе TiC-WC-TaC-Co состоят из трех основных фаз: твердого раствора карбидов титана, вольфрама и тантала (TiC-TaC-WC), а также карбида вольфрама (WC) и кобальтовой связки.

Введение в сплавы добавок карбида тантала улучшает их физико-механические и эксплуатационные свойства, что выражается в увеличении прочности при изгибе при температуре 20°C и 600-800°C.

Сплав, содержащий карбид тантала, имеет более высокую твердость, в том числе и при 600-800°C. Карбид тантала в сплавах снижает ползучесть, существенно повышает предел усталости трехфазных сплавов при циклическом нагружении, а также термостойкость и стойкость к окислению на воздухе.

В табл. 19 приведены состав и характеристики основных физико-механических свойств сплавов в соответствии с ГОСТ 3882-74.

Таблица 19 - Состав и характеристики физико-механических свойств сплавов на основе TiC-WC-TaC-Co (группа ТТК)

Сплав	Состав, %				σизг, Мпа, не менее	ρ·10 ⁻³ , кг/м ³	HRA, не менее
	WC	TiC	TaC	Co			
ТТ7К12	81	4	3	12	1666	13,0-13,3	87,0
ТТ8К6	84	8	2	6	1323	12,8-13,3	90,5
ТТ10К8Б	82	3	7	8	1617	13,5-13,8	89,0
ТТ20К9	67	9,4	14,1	9,5	1470	12,0-13,0	91,0

Увеличение в сплаве содержания карбида тантала повышает его стойкость при резании, особенно благодаря меньшей склонности к лункообразованию и разрушению под действием термоциклических и усталостных нагрузок.

Поэтому танталосодержащие сплавы рекомендуются главным образом для тяжелых условий резания с большими сечениями среза, когда на режущую кромку инструмента действуют значительные силовые и температурные нагрузки, а также для прерывистого резания, особенно фрезерования.

Наиболее прочным для обработки стали в особо неблагоприятных условиях (прерывистое точение, строгание, черновое фрезерование) является сплав ТТ7К12. Применение его взамен быстрорежущей стали позволяет повысить скорость резания в 1,5-2 раза. [5]

Пример расшифровки сплава ТТ8К6 – 6 % Co, 8 % карбидов титана и тантала TiC+TaC и 86 % карбидов вольфрама WC.

1.4 Безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС).

В связи с дефицитностью вольфрама и кобальта промышленность выпускает безвольфрамовые твердые сплавы на основе карбидов и карбонитридов титана с никельмолибденовой связкой (табл. 20).

Безвольфрамовые твёрдые сплавы (ГОСТ 26530–85) содержат карбиды титана, никель, молибден и другие тугоплавкие металлы (ТМ1, ТМ3, ТН–30). Буква Т указывает на наличие карбида титана, буква Н – никеля, буква М – молибдена; число показывает суммарное содержание никеля или молибдена. Безвольфрамовый твёрдый сплав на основе карбонитридов титана, содержащий также никель и молибден, обозначают КТН–16. В карбидохромистых твердых сплавах (КХН–20, КХН–30) число указывает на процентное содержание никеля, остальное – карбиды хрома.

Таблица 20 - Состав безвольфрамовых твердых сплавов

Сплав	Состав, %				ρ, г/см ³
	Карбид титана	Карбонитрид титата	Никель	Молибден	
КТН16	-	74	19,5	6,5	5,5-6,0
ТН20	79	-	15	6,0	5,5-6,0

Таблица 21 - Характеристики физико-механических свойств безволь-фрамовых твердых сплавов

Сплав	λ, Вт/(м·К)	α·10 ⁶ , К-1	σ _{изг} , Мпа, не менее	НРА, не менее
КТН16	12,6-21,0	8,5-90	1200	89
ТН20	8,4-14,7	8,5-90	1050	90

По твердости БВТС находятся на уровне вольфрамосодержащих сплавов (группы ВК), по прочностным характеристикам и особенно по модулю упругости им уступают. Твердость БВТС по Виккерсу при повышенных температурах в диапазоне температур 293-1073К несколько ниже, чем твердость вольфрамосодержащего сплава Т15К6.

БВТС имеют низкую окисляемость. Наибольшая термостойкость у сплава КТН16, у сплава ТН20 она значительно ниже. Поэтому из сплава КТН16 целесообразно изготавливать инструмент, работающий при прерывистом резании, например фрезеровании. Средняя «ломающая подача» (при которой происходит разрушение лезвия) составляет для сплава ТН20 – 0,3 мм/зуб, а для сплава КТН16 – 0,54 мм/зуб. При выборе режимов резания подача не должна превышать этих значений, а глубина резания – 5мм.

Наибольшей износостойкостью обладает сплав ТН20. При точении стали 45 и стали 40Х при t=1мм и S=0,2мм/об стойкость сплава ТН20 выше стойкости сплава Т15К6, во всем диапазоне скорости резания (от 200 до 600 м/мин).

Нагрев инструмента из БВТС на установках ТВЧ, обычно применяемых

при пайке инструмента, ухудшает его эксплуатационные характеристики. Поэтому для резания из БВТС изготавливают в основном сменные неперетачиваемые пластины (СМП).

В связи с пониженной теплопроводностью наибольшую стойкость БВТС имеют в случае применения четырех-, пяти- и шестигранных СМП, а не трехгранных. оптимальными геометрическими параметрами пластин при этом являются передний угол 10° , задний угол $8-10^\circ$, радиус при вершине $0,8$ мм.

Эффективность применения БВТС зависит от правильности подготовки инструмента, выбора режимов резания и условий обработки. Пластины должны иметь высококачественную доводку по режущим кромкам и опорной поверхности и прилегать к опоре без зазора.

Обрабатываемая заготовка не должна иметь биения, превышающего половину припуска на обработку, а также следов газовой сварки, шлаковых включений.

При точении по возможности следует применять охлаждение.

Для предотвращения катастрофических поломок инструмента рекомендуется производить принудительный поворот пластинки после обработки определенного числа заготовок. Допустимый износ резцов по задней грани $1,5-1,8$ мм.

При фрезеровании БВТС можно эксплуатировать до износа $2,5-3,0$ мм по задней грани.

2 Краткие рекомендации по выбору твердых сплавов.

Твердые сплавы на основе WC-Co рекомендуют для обработки серых, модифицированных и отбеленных чугунов, цветных металлов и их сплавов, стеклопластиков и других подобных материалов, дающих короткую сыпучую стружку надлома.

Обладая высокой прочностью, сплавы WC-Co лучше сопротивляются пульсирующей высокой нагрузке, имеющей место в данных условиях обработки. Превалирующим видом изнашивания в этом случае является адгезионно-усталостное, а при обработке белых чугунов и стеклопластиков - абразивное, при которых важным фактором, определяющим стойкость инструмента, является не только содержание кобальта в сплаве, но и размеры зерен фазы WC. И чем выше твердость обрабатываемого материала, тем существеннее влияние зернистости твердого сплава на стойкость инструмента.

Сплавы WC-Co рекомендуются также для обработки труднообрабатываемых высокопрочных и жаропрочных материалов, особенно сплавов на основе никеля и титана.

Сплавы на основе Ni, обладающие высокой прочностью и значительным сопротивлением ползучести при высоких температурах, а также низкой теплопроводностью, с большим трудом обрабатываются резанием. На поверхности резания инструмент – заготовка генерируются очень высокие температуры и напряжения, происходят схватывание и последующий отрыв частиц твердого сплава. Лучшую стойкость в этих условиях показывают

особомелкозернистые высококобальтовые сплавы.

Твердые сплавы на основе WC-TiC-Co рекомендуют в случае обработки стали при высоких скоростях резания, когда образуется сливная стружка. Стружка постоянно контактирует с передней поверхностью инструмента в условиях значительных температуры и давления, что приводит к интенсивному образованию лунки износа на передней поверхности резца. В этом случае превалирует диффузионное изнашивание. Раствор карбида вольфрама в карбиде титана растворяется в стали при более высокой температуре и гораздо медленнее, чем карбид вольфрама. Кроме того, присутствие фазы WC-TiC-Co способствует уменьшению скорости растворения зерен карбида вольфрама в стали, и тем самым снижает интенсивность изнашивания.

При диффузионном характере изнашивания его скорость, определяемая скоростью растворения карбидных зерен, в стали, в большей степени зависит от химических свойств сплава, чем от его твердости, связанной с зернистостью. В таких условиях значительно большей стойкостью обладают безвольфрамовые сплавы, основой которых является карбид или карбонитрид титана. Они взаимодействуют со сталью менее интенсивно, чем сложный карбид WC-TiC.

Твердые сплавы на основе WC-TiC-TaC-Co рекомендуют при прерывистом резании, например фрезеровании, когда на рабочих поверхностях инструмента появляются многочисленные короткие трещины, перпендикулярные к режущей кромке. Эти трещины вызваны периодическим расширением при нагреве в процессе резания и сжатием при охлаждении поверхностных слоев твердого сплава. При дальнейшем развитии трещины приводят к выкрашиваниям и сколам и становятся главной причиной выхода инструмента из строя.

Поэтому, для оснащения фрезерного инструмента применяют твердые сплавы, наименее чувствительные к термической усталости и динамическим циклическим нагрузкам, сплавы, содержащие в своем составе карбид тантала, т.е. сплавы на основе WC-TiC-TaC-Co[9].

3 Сверхтвердые синтетические поликристаллические инструментальные материалы

Сверхтвердыми принято считать материалы, имеющие микротвердость, выше микротвердости природного корунда (Al_2O_3) (т.е. твердость по Виккерсу более 20 ГПа). Материалы, твердость которых выше, чем металлов (т.е. 5-20 ГПа) можно рассматривать как высокотвердые. Из природных материалов к сверхтвердым относится только алмаз. В 2000 году в ИСМ АН Украины прямым превращением графитоподобного твердого раствора BN-C при давлении 25 ГПа и температуре 2100К была получена новая сверхтвердая фаза, кубический карбонитрид бора (BC_2N), получившим обозначение КАНБ. Твердость и модуль упругости КАНБ является промежуточным между алмазом и кубическим нитридом бора, что делает его вторым по твердости материалом после алмаза, и открывает новые перспективы.

Инструментальная промышленность выпускает синтетические сверхтвердые материалы на основе алмаза и кубического нитрида бора (КНБ).

Природный алмаз – самый твердый материал на Земле, который издавна применяется в качестве режущего инструмента. Принципиальное отличие монокристаллического природного алмаза от всех других инструментальных материалов, имеющих поликристаллическое строение, с точки зрения инструментальщика состоит в возможности получения практически идеально острой и прямолинейной режущей кромки. Поэтому в конце XX века с развитием электроники, прецизионного машиностроения и приборостроения применение резцов из природных алмазов для микроточения зеркально чистых поверхностей оптических деталей, дисков памяти, барабанов копировальной техники и т.п. возрастает. Однако из-за дороговизны и хрупкости природные алмазы не применяются в общем машиностроении, где требования к качеству обработки деталей не столь высоки.

Потребность в сверхтвердых материалах привела к тому, что в 1953-1957 годах в Швеции (фирма ASEA) и США («Дженерал электрик») и в 1959 году в СССР (Институт физики высоких давлений) методом каталитического синтеза, при высоких статических давлениях, из гексагональных фаз графита (C) и нитрида бора (BN), были получены мелкие частицы кубических фаз синтетического алмаза и нитрида бора.

Теория синтеза алмаза впервые была предложена О.И.Лейпунским (1939г.), который на основе экспериментальных данных об обратном переходе алмаза в графит, сформулировал условие перехода графита в алмаз и рассчитал кривую равновесия графит – алмаз при высоких давлениях. Синтез алмаза из графита при высоких давлениях (более 4,0 ГПа) и температурах (свыше 1400К) осуществляется в присутствии металлических растворителей углерода (Ni, Fe, Co и др.).

Кубический нитрид бора (КНБ) сверхтвердый материал, не имеющий природного аналога. Впервые кубический нитрид бора был синтезирован в 1956 году (фирмой «Дженерал Электрик») при высоких давлениях (свыше 4,0 ГПа) и высокой температуре (свыше 1473К) из гексагонального нитрида бора в присутствии щелочных и щелочноземельных металлов (свинец, сурьма, олово и др.). Кубический нитрид бора, выпускаемый фирмой «Дженерал Электрик» был назван Боразоном.

Синтетические монокристаллы алмаза и КНБ, полученные искусственным путем имеют очень малые размеры, поэтому для использования в качестве инструментального материала их соединяют (сращивают) в поликристаллы.

Поликристаллические композиционные материалы на основе алмаза и кубического нитрида бора появились на рубеже 60-70 годов. Характерной особенностью таких материалов является наличие жесткого каркаса из сросшихся зерен алмаза или КНБ. Спекание порошков алмаза и КНБ, как правило, осуществляется в области термодинамической стабильности алмаза и КНБ при давлении 5...9 ГПа и температурах 1500...2000К. Обычно спекание поликристаллических композиционных материалов осуществляют в присутствии активирующих процесс спекания добавок, для алмазных порошков – кобальт или кремний, а для порошков КНБ – алюминий (рис. 2.4). Составляющие каркас зерна это в сущности, монокристаллы алмаза,

обладающие рядом уникальных физико-механических и теплофизических свойств. Насколько эти свойства реализуются в поликристалле, зависит от степени их взаимосвязи.

Технология производства двухслойных пластин, состоящих из верхнего рабочего слоя – сверхтвердого материала скрепленного с твердосплавной пластиной. Спеканием двухслойной пластины с алмазным рабочим слоем получают АТП, а с рабочим слоем из КНБ – КТП[10].

4 Порядок выполнения работы

1. Изучить стандарты на твердые сплавы.
2. Изучить образцы сплавов и определить область применения.
3. Определить назначение одного образца (табл. 22) по указанию преподавателя.
4. Расшифровать марки сплавов, приведенных в табл. 22
5. Составьте отчет по выполненной работе.

5 Содержание отчета

1. Изучение теоретических сведений о классификации твердых сплавов, определении их марок и области применения;
2. Схема «Классификация твердых сплавов»
3. Расшифровка марок твердых сплавов, согласно варианту в табл. 22
4. Выводы о проделанной работе.

Таблица 22 – Варианты заданий

№ варианта	Марки сплавов		
1	ВК3	Т30К4	ТТ6К8
	ВК4-М	Т14К8	ТТ8К12
	ВК8-КС	Т15К6	ТТ18К13
	ВК13	Т30К5	ТТ15К10
	ВК20-М	Т14К6	ТТ8К6
2	ВК6	Т6К8	ТТ15К14
	ВК8-КС	Т18К4	ТТ10К12
	ВК6-ОМ	Т16К9	ТТ7К9
	ВК4-КС	Т20К15	ТТ21К14
	ВК9-М	Т18К20	ТТ8К14

6 Контрольные вопросы

1. Назовите твердосплавные смеси.
2. Какие требования предъявляются к инструментальным материалам?
3. Назовите области применения каждой группы твердых сплавов?
4. На какие группы по химическому составу делятся твердые сплавы?
5. Какие материалы называют сверхтвердыми?

6. Какие свойства имеет кубический нитрид бора?
7. Перечислить группы инструментальных материалов.

7 Список рекомендуемых источников

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 2001.-920 с., ил.
2. ГОСТ 3882-74 Сплавы твердые спеченные., ТУ 1966-005-00196121-2014 Сплавы твердые спеченные для горного инструмента (марки сплавов, применение). Технические условия., ТУ 48-19-60-78 Смеси вольфрамовые, титано-вольфрамовые и титано-тантало-вольфрамовые. Технические условия., ТУ 48-19-154-92 Смеси твердосплавные марок ВК8-КС, ВК10-КС, ВК20-КС. Технические условия.
3. Журавлев В.Н., Николаев О.И. Машиностроительные стали. Справочник.- 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992, 480с., ил.

Лабораторная работа 11

Тема: Изучение промышленной классификации цветных металлов и их маркировка

Цель работы: ознакомления со стандартами на цветные металлы и сплавы, изучение классификации цветных металлов, их марок и области их применения

1 Теоретические сведения

Все металлы, за исключением железа и его сплавов, называются цветными. Цветные металлы дороги и дефицитны, поэтому их применяют там, где железоуглеродистые сплавы не могут быть использованы. Цветным металлам и сплавам на их основе присущи особые физические, механические, химические и технологические свойства, благодаря чему они в ряде случаев являются незаменимыми. В машиностроении наибольшее распространение среди цветных металлов получили медь, алюминий, магний и их сплавы, подшипниковые сплавы на основе олова, свинца.

1.1 Алюминий и алюминиевые сплавы.

Алюминий – «металл серебристо-белого цвета в изломе, легкий (имеет малую плотность $2,7 \text{ г/см}^3$), обладает высокими тепло- и электропроводностью, стоек к коррозии, пластичен, хорошо обрабатывается методами пластического деформирования, хорошо сваривается всеми видами сварки, плохо поддается обработке резанием (малая прочность).

В зависимости от степени чистоты алюминий согласно ГОСТ 11069-74 бывает особой (А999), высокой (А995, А95) и технической чистоты (А85, А7Е, А0 и др.)» [11].

Алюминий маркируют буквой «А» и цифрами, обозначающими доли процента свыше 99,0% алюминия. Буква «Е» обозначает повышенное содержание железа и пониженное кремния.

Примеры:

А999 - алюминий особой чистоты, в котором содержится не менее 99,999% алюминия;

А5 - алюминий технической чистоты, в котором 99,5% алюминия.

Алюминиевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные. Те и другие могут быть не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Литейные алюминиевые сплавы (ГОСТ 2685-75) обладают хорошей жидкотекучестью, имеют сравнительно не большую усадку и предназначены в основном для фасонного литья. Эти сплавы маркируются буквами "АЛ" с последующим порядковым номером: АЛ2, АЛ9, АЛ13, АЛ22, АЛ30.

Иногда маркируют по составу: АК7М2; АК21М2,5Н2,5; АК4МЦ6. В этом случае «М» обозначает медь. «К» - кремний, «Ц» - цинк, «Н» - никель; цифра - среднее % содержание элемента.

Литейные сплавы должны обладать высокой жидкотекучестью, малой склонностью к образованию горячих трещин и пористости. Для обеспечения высокого уровня литейных свойств необходим минимальный эффективный интервал кристаллизации. Высокие литейные свойства имеют сплавы с эвтектической структурой. Наиболее распространенными литейными сплавами являются силумины.

Силумины – сплавы алюминия с кремнием. Они относятся к литейным сплавам и содержат 10...13% Si.

Следовательно, в их структуре содержится большое количество эвтектики, что обеспечивает хорошие литейные свойства сплавов. Однако в обычном силумине с содержанием 12...13% Si структура сплава имеет грубоиглольчатое строение с включениями хрупкого кремния, что снижает механические свойства силуминов. *Маркировка силуминов (на примере марки АЛ2): А – означает, что сплав алюминиевый, Л – литейный, 2 – порядковый номер по ГОСТ.*

«Из алюминиевых антифрикционных сплавов (ГОСТ 14113-78) изготавливают подшипники и вкладыши, как литьем, так и обработкой давлением. Такие сплавы маркируют буквой "А" и начальными буквами входящих в них элементов: А09-2, А06-1, АН-2,5, АСМТ. В первые два сплава входят в указанное количество олова и меди (первая цифра-олово, вторая-медь в %), в третий - 2,7-3,3% Ni и в четвертый - медь сурьма и теллур». [8]

Алюминиевые сплавы маркируют буквами или условными номерами. Часто за условным номером дают обозначения, характеризующие состояние сплава: М – мягкий (отожженный); Т – термически обработанный (закалка и старение); Н – нагартованный и др.

Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой, имеют сравнительно низкую прочность, но более высокую пластичность и коррозионную стойкость. Их применяют в отожженном состоянии или упрочняют с помощью холодной пластической деформации.

Деформируемые алюминиевые сплавы хорошо обрабатываются прокаткой, ковкой, штамповкой. Их марки приведены в ГОСТ 4784-74. К деформируемым алюминиевым сплавам, не упрочняемым термообработкой, относятся сплавы системы алюминий-марганец (Al-Mn) и алюминий-магний (Al-Mg): АМц; АМг1; АМг4,5; АМг6. Аббревиатура включает в себя начальные буквы, входящих в состав сплава компонентов, и цифры, указывающие содержание легирующего элемента в процентах. К деформируемым алюминиевым сплавам, упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы Al-Cu-Mg с добавками некоторых элементов (дуралюмины, ковошные сплавы), а также высокопрочные и жаропрочные сплавы сложного хим. состава. Дуралюмины маркируются буквой "Д" и порядковым номером, например: Д1, Д12, Д18, АК4, АК8.

Чистый деформируемый алюминий обозначается буквами "АД" и условным обозначением степени его чистоты: АДОч (не менее 99,98% Al), АДООО (не менее 99,80% Al), АДО (99,5% Al), АД1 (99,30% Al), АД (не менее 98,80% Al).

Сплавы, содержащие 2...7% магния, образуют семейство материалов типа магнилит, они имеют высокую коррозионную стойкость, пластичны, хорошо свариваются. Основным способом упрочнения – нагартовка. Из этих сплавов изготавливают профили, трубы, листы, прутки и др.

Наибольшее распространение получили сплавы – дюралюмины.

Дюралюмины относятся к деформируемым термически упрочняемым алюминиевым сплавам. Дюралюмины – это сплавы системы Al – Cu – Mg – Mn (марки Д1, Д16). Нормальный дюралюмин Д1 содержит до 4,8% Cu, 0,5 Mg, 0,5 Mn, Al – остальное. Для упрочнения сплав подвергают закалке от температуры 480...500°С. Закалку обычно проводят в воде. Закалённые детали можно подвергать технологическим деформирующим операциям: гибке, отбортовке, расклёпке заклёпок. Для дальнейшего упрочнения сплавы подвергают последующему старению.

Наряду с дюралюминами и силуминами используют другие сплавы на основе алюминия – авиаль и магниалии.

Авиаль – сплав на основе алюминия, содержащий до 0,45% магния, 0,5...1,2% кремния, 0,2...0,6% меди, 0,15...0,35% марганца или хрома. Этот сплав обладает высокой пластичностью и удовлетворительной атмосферной коррозионной стойкостью. Так как сплав обладает достаточной пластичностью и хорошо обрабатывается давлением, из него изготавливают детали сложной формы (лопасти винтов вертолетов).

Магниалии – сплавы на основе алюминия, легированные 1...13% магния, – бывают литейные (4... 13% магния) для изготовления сложных фасонных отливок и деформируемые (1...7% магния), хорошо сваривающиеся и имеющие высокие показатели по коррозионной стойкости и пластичности. Такие сплавы используют в судостроении и ракетостроении.

1.2 Медь и медные сплавы.

Медь – «металл красного, в изломе розового цвета, тяжелый (имеет плотность 8,94 г/см³), обладает высокими пластичностью и коррозионной стойкостью, малым удельным электросопротивлением и высокой теплопроводностью.

В зависимости от чистоты медь подразделяют на марки (ГОСТ 859-78): МВЧк (99,993% Cu+Ag), МОО (99,99% Cu+Ag), МО (99,95% Cu+Ag), М1 (99,9% Cu+Ag), М2 (99,7% Cu+Ag).

После обозначения марки указывают способ изготовления меди: к - катодная, б – бескислородная, р - раскисленная. Медь огневого рафинирования не обозначается:

МООк - технически чистая катодная медь, содержащая не менее 99,99% меди и серебра.

МЗ - технически чистая медь огневого рафинирования, содержит не менее 99,5% меди и серебра».

Различают две основные группы медных сплавов:

Бронзы – «это сплавы меди с оловом (4-33% Sn, хотя бывают без оловянной бронзы), свинцом (до 30% Pb), алюминием (5-11% Al), кремнием (4-5% Si), сурьмой и фосфором (ГОСТ 493-79, ГОСТ 613-79, ГОСТ 5017-74, ГОСТ 18175-78)»;

латуни – «сплавы меди с цинком (до 50% Zn) и небольшими добавками алюминия, кремния, свинца, никеля, марганца (ГОСТ 15527-70, ГОСТ 17711-80). Латунь, содержащая до 10% цинка, так называемый *томпак*».

Медные сплавы, предназначенные для изготовления деталей методами литья, называют *литейными*, а сплавы, предназначенные для изготовления деталей пластическим деформированием - сплавами, *обрабатываемыми давлением*.

Принята следующая маркировка медных сплавов. Сплавы обозначают буквами «Бр» (бронза) или «Л» (латунь), после чего следуют первые буквы названий основных элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие количество элемента в процентах.

Приняты следующие обозначения компонентов сплавов:

А – алюминий	Мц - марганец	Су – сурьма
Б - бериллий	Мш - мышьяк	Т – титан
Ж - железо	Н – никель	Ф – фосфор
К – кремний	О – олово	Х – хром
Кд – кадмий	С - свинец	Ц - цинк
Мг – магний	Ср – серебро	

Примеры:

БрА9Мц2Л – бронза литейная, содержащая 9% алюминия, 2% марганца, остальное медь ("Л" в конце марки указывает, что сплав литейный) ;

ЛЦ30А - латунь, содержащая 30% цинка, ~1% алюминия, остальное медь;

БрОФ8,0-0,3 – бронза, наряду с медью содержащая 8% олова и 0,3% фосфора;

ЛАМи77-2-0,05 – латунь, содержащая 77% меди, 2% алюминия, 0,05% мышьяка, остальное цинк (в обозначении латуни, предназначенной для обработки давлением, первое число указывает на содержание меди).

В несложных по составу латунях указывают только содержание в сплаве меди:

Л96 – латунь, содержащая 96% меди и 4% цинка (томпак);

Л63 – латунь, содержащая 63% меди и 37% цинка.

1.3 Титан и его сплавы.

Титан – «металл серого цвета, тугоплавкий, с невысокой плотностью ($4,505 \text{ г/см}^3$). Удельная прочность титана выше, чем у многих легированных конструкционных сталей, поэтому при замене сталей титановыми сплавами можно при равной прочности уменьшить массу детали на 40%. Титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него можно изготовить сложные отливки, но обработка резанием затруднительна. Для получения сплавов с улучшенными свойствами его легируют алюминием, хромом, молибденом» [12].

По способу производства деталей различаются деформируемые (ВТ 9, ВТ 18) и литейные (ВТ 21Л, ВТ 31Л) сплавы.

В соответствии с ГОСТ 19807-91 обозначаются буквами ВТ, ОТ, ПТ (В, О, П – идентификатор организации-разработчика или производителя, Т – титан) и цифрами, указывающими порядковый номер сплава в зависимости от химического состава: В– ВИАМ титан – Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ, г. Москва); О– Опытный титан – совместная разработка ВИАМ и Верхнесалдинского металлургического производственного объединения (ВСМПО, г. Верхняя Салда, Свердловская область); П– Прометей титан – Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов "Прометей" (ЦНИИ КМ "Прометей", г. Санкт-Петербург).

В некоторых случаях после порядкового номера сплава ставится дополнительная буква: У – улучшенный, М – модифицированный, И – специального назначения, Л – литейный, В – с преобладанием ванадия в качестве легирующего элемента.

Пример расшифровки:

ВТ8 – ВИАМ титановый сплав, номер марки 8.

ПТ-7М – Прометей титановый сплав, номер марки 7, модифицированный.

1.4 Магний и его сплавы.

Магний – «металл светло-серого цвета. Среди промышленных металлов магний обладает наименьшей плотностью ($1,74 \text{ г/см}^3$). Магний и его сплавы неустойчивы против коррозии, при повышении температуры магний интенсивно окисляется и даже самовоспламеняется. Он обладает малой прочностью и пластичностью, поэтому как конструкционный материал чистый магний не используется. Для повышения химико-механических свойств в магниевые сплавы вводят алюминий, цинк, марганец и другие легирующие добавки.

Технический магний выпускается трех марок Мг90, Мг95, Мг96 (магния соответственно не менее 99,90; 99,95; 99,96%).» [4]

Магниевые сплавы подразделяют на деформируемые (ГОСТ 14957-76) и литейные (ГОСТ 2856-79). Первые маркируются буквами «МА», вторые «МЛ». После букв указывается порядковый номер сплава в соответствующем ГОСТе. п.ч. - повышенной чистоты; о.н. - общего назначения

Например:

МА1-деформируемый магниевый сплав № 1;

МЛ19-литейный магниевый сплав № 19.

1.5 Антифрикционные (подшипниковые) сплавы

Подшипниковые сплавы применяют для изготовления вкладышей подшипников. Они должны отвечать следующим требованиям:

- иметь низкий коэффициент трения;
- хорошую прирабатываемость;
- выдерживать большие удельные давления;
- обеспечивать хорошую смазку;
- иметь более низкую твердость по сравнению с валом (то есть не вызывать его износ).

Для выполнения указанных требований антифрикционные сплавы должны иметь разнородную структуру, то есть состоять из мягкой пластичной основы и твердых включений. Мягкая основа равномерно распределяет давление и изнашивается. Вал опирается на твердые включения, а пространство между валом и подшипником заполнено смазкой (так называемый «принцип Шарпи»).

В качестве антифрикционных сплавов широкое применение в машиностроении получили баббиты, свинцовая бронза, сплавы на алюминиевой основе, антифрикционные чугуны.

Баббиты – это легкоплавкие антифрикционные сплавы на основе олова или свинца. Кроме них в состав баббитов вводятся легирующие компоненты, придающие им специфические свойства: медь увеличивает твердость и ударную вязкость, никель – твердость и износостойкость, кадмий – коррозионную стойкость, сурьма – прочность.

Все свинцовые и оловянные баббиты имеют в своей маркировке букву «Б». Кальциевые баббиты маркируются сокращением «БК» и далее могут следовать буквы названий дополнительных легирующих элементов. Например, аббревиатура БКА расшифровывается как кальциевый баббит, легированный алюминием. Кроме того, буква «Ш» в конце маркировки кальциевых баббитов указывает на область применения, а именно - шихтовка сплавов при заливке подшипников.

Свинцовые баббиты маркируются буквой «Б», после которой стоит цифра, указывающая на среднее процентное содержание олова и сурьмы или начальные буквы названий основных легирующих элементов. Например, сокращение БС - свинцовый баббит, основными элементами которого является свинец и сурьма. БН - сплав, базовыми компонентами которого являются свинец

2 Назначение конструкционных материалов.

Рассмотренные конструкционные материалы используются во многих отраслях нефтегазовой, химической и автомобильной промышленности. Примерное назначение приведено в табл. 23.

Таблица 23 – Области применения цветных металлов

Деформируемые алюминиевые сплавы систем Al-Mn, Al-Mg	АМц, АМцС, АМг1, АМг4, АМг5, АМг6	Для сварных емкостей, для деталей, работающих в агрессивных средах; для трубопроводов, заклепок.
Дуралюмины	Д1, Д16	Лонжероны, шпангоуты, тяги, заклепки и др. детали самолетов.
Алюминиевые литейные сплавы	АЛ2, АЛ3, АЛ4, АЛ8, АЛ19	Для ответственного литья: ползунов, шкивов, роторов вентиляторов, тонкостенного литья, корпуса и арматура приборов и т.д.
Бронзы оловянные	БрОЦСН3-7-5-1, БрОЦС5-5-5	Вкладыши тяжело нагруженных подшипников скольжения, деталей арматуры и т.п.
Бронзы безоловянные	БрАЖ9-4, БрБ2	Для ответственных пружин, мембран, пружинящих контактов, фланцев, шестерен и т.д.
Латуни	Л62, Л98, ЛАМш7-2-0,05	Прутки, проволока, детали арматуры, работающие в морской воде и т.д.
Деформируемые магниевые сплавы	МА5	Для изготовления различных деталей в авиационной промышленности
Литейные магниевые сплавы	МЛ19	Для высоконагруженных деталей авиационной промышленности: картеры, корпуса приборов, фермы шасси и т.п.
Титановые сплавы	BT5	Для изготовления деталей самолетов, в химическом машиностроении и т.п.

3 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со стандартами на цветные металлы и сплавы.
2. Рассмотреть образцы цветных металлов и сплавов, изучить их свойства и определить область применения.
3. Определить назначение одного образца (табл. 23) по указанию преподавателя.
4. Расшифровать марки металлов и сплавов, приведенных в табл. 24
5. Составьте отчет по проделанной работе.

4 Содержание отчета

1. Изучение теоретических сведений о классификации цветных металлов и сплавов, определении их марок и области применения;
2. Схема «Классификация цветных металлов и сплавов»
3. Расшифровка марок цветных металлов и сплавов, согласно варианту в табл. 24

4. Выводы о проделанной работе.

Таблица 24 – Варианты заданий

№ варианта	Марки сплавов для изучения			
1	Л96; ЛО70-1;	БрОС5-2;	АЛ1;	Д16
2	Л90; ЛА77-2;	БрС30	АЛ27	Д1
3	Л63; ЛО62-1	БрАМц10-2	АЛ19	БрА5
4	Л80; ЛС63-3;	БрОФ4-0,25;	АД1	Д18
5	ЛО90-1; ЛМцЖ-52-4-1	БрОЦСН3-7-5-1	БрОЦС 3-12-5	ВТ5Л
6	ЛАЖМц 66-6-3-2; Л80	БрОЦС5-5-5	БрОЦС 3-7-5	Д21
7	Л68; ЛАН59-3-2	БрМг0,3	БрКМц 3-1	АЛ3
8	Л70; ЛАЖ60-1-1	БрАМц10-2;	БрКН 1-3	АЛ29
9	Л80; ЛО70-1	БрБНТ2-1-1	БрОФ4-0,25;	Д16
10	Л96; ЛЦ40МцЗЖ	БрАЖН10-4-4Л	БрМг0,3	ВТ21Л
11	Л96; ЛО70-1;	БрОС5-2;	АЛ27	Мг96
12	Л68; ЛАН59-3-2	БрС30	Мг95	Д1
13	Л80; ЛО70-1	БрАМц10-2	АД1	Мг90
14	ЛАЖМц 66-6-3-2; Л80	БрС30	БрОЦС 3-7-5	Д20
15	Л68; ЛАН59-3-2	БрАЖН10-4-4Л	БрКМц 3-1	АЛ19
16	Л70; ЛАЖ60-1-1	БрОЦСН3-7-5-1	БрКН 1-3	БрА5
17	Л90; ЛА77-2;	БрОЦС5-5-5	Мг95	Д18
18	Л63; ЛО62-1	БрМг0,3	АЛ19	ВТ21Л
19	Л80; ЛС63-3;	БрАМц10-2;	АД1	Мг96
20	ЛО90-1; ЛМцЖ-52-4-1	БрБНТ2-1-1	БрМг0,3	АЛ29
21	Л68; ЛАН59-3-2	БрМг0,3	БрКМц 3-1	АЛ3
22	Л96; ЛО70-1;	БрОС5-2;	АЛ27	Мг96
23	Л80; ЛО70-1	БрБНТ2-1-1	БрОФ4-0,25;	Д16
24	Л70; ЛАЖ60-1-1	БрАМц10-2;	БрКН 1-3	АЛ29
25	Л63; ЛО62-1	БрОЦСН3-7-5-1	БрКН 1-3	БрА5

5 Контрольные вопросы

1. Что называется бронзой, латунью, силумином, дюралюмином авиаль?
2. Указать свойства и область применения меди, алюминия, магния и их сплавов?
3. Как маркируются медь, алюминий, бронзы, латуни, силумины, дюралюмины?
4. Назвать структурные составляющие латуни, бронзы, силумина?
5. Как классифицируются бронзы? Какими свойствами обладают бронзы?
6. Какие сплавы относятся к антифрикционным? Какими свойствами должны обладать антифрикционные сплавы?
7. Что такое баббит? Как он маркируется?

6 Список рекомендуемых источников

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 2001.-920 с., ил.
2. ГОСТ 5017-74 Бронзы оловянистые, ГОСТ 14113-78 Сплавы алюминиевые антифрикционные, ГОСТ 19807-91 – Титан и титановые сплавы, ГОСТ 613-91 Бронзы оловянные литейные, ГОСТ 17711-80 Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные, ГОСТ 2685-75 Сплавы алюминиевые литейные., ГОСТ 15527-70 Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением., ГОСТ 859-78 Медь, ГОСТ 14957-76 Сплавы магниевые деформируемые, ГОСТ 2856-79 Сплавы магниевые литейные, ГОСТ 18175-78 Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением, ГОСТ 493-79 Бронзы безоловянные литейные, ГОСТ 4784-74 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые, ГОСТ 11069-74 Алюминий первичный.,
3. Журавлев В.Н., Николаев О.И. Машиностроительные стали. Справочник.- 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992, 480с., ил.

Заключение

Содержание теоретического материала и заданий лабораторных работ направлены на следующие аспекты:

- Обобщение и систематизацию теоретических знаний по вопросам структуры материалов и их свойств, закрепление теории посредством наглядного воспроизведения теоретических положений на практике;
- развитие аналитических, конструктивных способностей учащихся, а также визуализировать анализ в графической интерпретации;
- развитие таких профессионально важных качеств, как независимость, ответственность, пунктуальность, творческая инициатива в решении задач;

Учебно-методическое по лабораторным работам нацелено на следующие задачи:

- формирование практических навыков работы с различными устройствами и оборудованием для профессиональной подготовки студента;
- алгоритмизация методологии эксперимента;
- развитие исследовательских навыков - (наблюдение, анализ, сравнение, выявление зависимостей, обобщение результатов, запись результатов).
- экспериментальное подтверждение и проверка теоретических предложений и моделей;
- экспериментальное наблюдение за развитием явлений и процессов, определение свойств веществ, их качественных и количественных свойств;

На лабораторных занятиях обучающиеся приобретают первые профессиональные навыки, которые укрепляются и совершенствуются в ходе обучения и практики.

Список использованных источников

- 1 Тарасенко Л. В. Материаловедение: учебное пособие для вузов / Л. В. Тарасенко, С. А. Пахомова и др.; под ред. Л. В. Тарасенко. - Москва: НИЦ Инфра-М, 2012. - 475 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-004868-0.
- 2 Материаловедение и технология материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / под ред. А.И. Батышева, А.А. Смолькина. - Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 288 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - В пер. - ISBN 978-5-16-004821-5.
- 3 Токмин А. М. Выбор материалов и технологий в машиностроении [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.М. Токмин, В. И. Темных, Л. А. Свечникова. - Москва: НИЦ ИНФРА-М; Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. - 235 с. - В пер.- ISBN 978-5-16-006377-5.
- 4 Стуканов В. А. Материаловедение: учебное пособие [Электронный ресурс] / В. А. Стуканов. - Москва: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.: ил. - В пер. - ISBN 978-5-8199-0352-0
- 5 Горохов В. А. Материалы и их технологии: В 2 ч.: учебник [Электронный ресурс] / В. А. Горохов, Н. В. Беляков, А. Г. Схиртладзе; под ред. В. А. Горохова. - Москва: НИЦ ИНФРА-М; Минск: Новое знание, 2014. Ч. 1. - 589 с.- (Высшее образование). - В пер.- ISBN 978-5-16-009531-8
- 6 Тимофеев В. Л. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Л. Тимофеев, В. П. Глухов и др.; под общ. ред. В. Л. Тимофеева. - 3-е изд., испр. И доп. - Москва: ИНФРА-М, 2011. - 272 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-004749-2.
- 7 Лахтин Ю.М., Лентьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 2009.
- 8 Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка. – М.: Металлургия, 2006.
- 9 Фетисов Г.П., Карпман М.Г. и др. Материаловедение и технология конструкционных материалов. – М.: Металлургия, 2009.
- 10 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 2001.-920 с., ил.
- 11 Денисов Е.В., Кусков В.Н. Машиностроительные конструкционные материалы. Конспект лекций по курсу «Технологические процессы машиностроительных производств» и «Технология конструкционных материалов». Часть 2. Тюмень, 1993 г.
- 12 Журавлев В.Н., Николаев О.И. Машиностроительные стали. Справочник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992, 480с.,