ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени И.С. Тургенева

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.С. ТУРГЕНЕВА» ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ Н.Н. ПОЛИКАРПОВА

Кафедра машиностроения

Л.Н. Курдюмова

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания
по проведению практических занятий

Дисциплина – «Материаловедение»
Специальность – 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов»
Направления: 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
15.03.06 «Мехатроника и робототехника»
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

Орёл
ОГУ имени И.С. Тургенева
2020

Автор: канд. техн. наук,
доц. каф. машиностроения Л.Н. Курдюмова

Рецензент: д-р техн. наук, доц.,
зав. каф. машиностроения Л.Ю. Фроленкова

Методические указания содержат теоретический материал и задания по основным дидактическим единицам дисциплины. Они могут быть полезны для повышения эффективности самостоятельной работы студентов и усвоения изучаемого материала.

Предназначены студентам, обучающимся по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» и направлениям 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии», изучающим дисциплину «Материаловедение».

Редактор И.Ю. Куликов
Технический редактор О.Н. Федоров

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Подписано к печати 04.08.2020 г. Формат 60×90 1/16.
Усл. печ. л. 3,4. Тираж 10 экз.
Заказ №___

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95.

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение …….. 4
Практическое занятие №1 Классификация и маркировка черных сплавов …… 5
Практическое занятие №2 Микроструктура и свойства черных сплавов ……. 17
Практическое занятие №3 Технология термической обработки углеродистой стали …… 26
Практическое занятие №4 Выбор режимов окончательной термической обработки стали ……. 35
Практическое занятие №5 Классификация и маркировка цветных сплавов ……. 41
Литература ……... 52
Приложение А ……. 53
Приложение Б ……. 54

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Материаловедение» относится к основным дисциплинам, которые определяют подготовку студентов технического направления. В рамках изучения дисциплины рассматриваются свойства материалов и способы их направленного изменения с целью получения материалов с заданными рабочими свойствами для наиболее эффективного их использования. Материаловедение, опираясь на фундаментальные основы физики, химии, механики и других смежных дисциплин, является базой для изучения многих специальных дисциплин. Изучение «Материаловедения» позволяет:

- понять физико-химическую сущность явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных внешних факторов и их влияние на свойства материалов;
- установить зависимость между составом, строением и свойствами материалов;
- изучить основные группы современных материалов, их свойства и области применения;
- изучить теоретические основы и технологические особенности реализации различных способов обработки материалов для обеспечения их высокой надежности и долговечности.

Данные методические указания по проведению практических занятий содержит теоретический материал и задания по основным дидактическим единицам дисциплины «Материаловедение».

Процесс выполнения заданий по данной дисциплины направлен на формирование и развитие у обучающихся общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЧЕРНЫХ СПЛАВОВ

Теоретические сведения

Классификация и маркировка сталей

Сталями называют сплавы железа с углеродом, содержащие до 2 % углерода. Кроме того, в состав стали обычно входят марганец, кремний, сера и фосфор (примеси). Легированной называется сталь, в которой наряду с обычными примесями имеются легированные элементы, улучшающие ее свойства: хром, вольфрам, никель, ванадий, молибден и др., а также кремний и марганец в большом количестве, чем их примесное содержание. Легирующие элементы вводятся в состав стали в процессе выплавки.

Стали, классифицируют по следующим признакам.

1. По химическому составу.

По содержанию ***углерода*** стали делятся на:

1) низкоуглеродистые, т. е. содержащие углерод менее 0,25 %;

2) среднеуглеродистые – содержащие углерод 0,25 - 0,60 %;

3) высокоуглеродистые – содержащие углерода более 0,60 %.

Легированные стали делятся на:

1) низколегированные – с содержанием легирующих элементов до 2,5 %;

2) среднелегированные – с содержанием легирующих элементов от 2,5 до 10 %;

3) высоколегированные – с содержанием легирующих элементов свыше 10 %.

2. По назначению.

1) конструкционные – предназначены для изготовления строительных и машиностроительных изделий.

2) инструментальные – для изготовления режущего, мерительного, штампового и прочего инструмента. Эти стали содержат более 0,65 % углерода.

3) с особыми физическими или химическими свойствами (магнитные, электротехнические, коррозионностойкие, жаростойкие и т.д.).

3. По качеству (определяется содержанием вредных примесей – серы и фосфора):

1) стали обыкновенного качества содержат до 0,06 % серы и до 0,07 % фосфора.

2) качественные – до 0,035 % серы и фосфора (каждого элемента).

3) высококачественные – до 0,025 % серы и фосфора (каждого элемента).

4) особовысококачественные – до 0,025 % фосфора и до 0,015 % серы.

4. По степени раскисления.

Степень раскисления – это степень удаления кислорода из стали. По степени раскисления, существуют:

1) кипящие стали – слабо раскисленные (только марганцем); маркируются буквами «кп»;

2) полуспокойные стали, занимающие промежуточное положение между двумя предыдущими (раскислены марганцем и кремнием); обозначаются буквами «пс».

3) спокойные стали – полностью раскисленные (раскислены марганцем, кремнием и алюминием); такие стали обозначаются буквами «сп» в конце марки (иногда буквы опускаются).

Конструкционные стали

Стали конструкционные углеродистые обыкновенного качества обозначают буквами «Ст» и условным номером марки (от 0 до 6). Буква «Г» после номера марки указывает на повышенное содержание марганца в стали. В марке указывается степень раскисления (в конце марки).

Марки углеродистой стали обыкновенного качества:

Ст0	Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп	Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп	Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп	Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс	Ст6пс, Ст6сп

Например:

Ст1кп – углеродистая конструкционная сталь обыкновенного качества, кипящая, № марки 1;

Ст5Гпс – углеродистая сталь обыкновенного качества с повышенным содержанием марганца, полуспокойная, № марки 5.

Чем больше цифра условного номера стали, тем выше ее прочность и меньше пластичность.

Стали конструкционные углеродистые качественные маркируют словом «сталь» и двухзначным числом 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, ..., 85. Двухзначное число в марке показывает содержание углерода в сотых долях процента. Дополнительными индексами указывают степень раскисления (в спокойной стали буквы «сп» не пишутся).

Например:

сталь08кп – углеродистая конструкционная качественная сталь, кипящая, содержание углерода – 0,08 %;

сталь45 – углеродистая конструкционная качественная сталь, спокойная, содержание углерода – 0,45 %.

В ***легированных конструкционных сталях*** сочетания букв и цифр дают характеристику легированной стали. Двухзначное число впереди марки указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Числа, стоящие за буквами (справа), указывают среднее содержание легирующего элемента в процентах, если за буквой отсутствует число – значит содержание данного элемента около 1 %. Буква А в конце марки обозначает высококачественную сталь, буква Ш в конце марки – сталь особовысококачественная. Степень раскисления легированных сталей – спокойные.

Хром – наиболее дешевый и распространенный элемент. Он повышает твердость и прочность, незначительно уменьшая пластичность, увеличивает коррозионную стойкость; содержание большого количества хрома делает сталь нержавеющей и обеспечивает устойчивость магнитных сил.

Никель сообщает стали коррозионную стойкость, высокую прочность и пластичность, увеличивает прокаливаемость, оказывает влияние на изменение коэффициента теплового расширения. Никель – дорогой металл, его стараются заменить более дешевым.

Вольфрам образует в стали очень твердые химические соединения – карбиды, резко увеличивающие твердость и красностойкость. Вольфрам препятствует росту зерен при нагреве, способствует устранению хрупкости при отпуске. Это дорогой и дефицитный металл.

Ванадий повышает твердость и прочность, измельчает зерно. Увеличивает плотность стали, так как является хорошим раскислителем, он дорог и дефицитен.

Кремний в количестве свыше 1 % оказывает особое влияние на свойства стали: содержание 1 - 1,5 % Si увеличивает прочность, при этом вязкость сохраняется. При большем содержании кремния увеличивается электрическое сопротивление и магнитная проницаемость. Кремний увеличивает также упругость, окалиностойкость.

Марганец при содержании свыше 1 % увеличивает твердость, износостойкость, стойкость против ударных нагрузок, не уменьшая пластичности.

Кобальт повышает жаропрочность, магнитные свойства, увеличивает сопротивление удару.

Молибден увеличивает красностойкость, упругость, предел прочности на растяжение, антикоррозионные свойства и сопротивление окислению при высоких температурах.

Титан повышает прочность и плотность стали, способствует измельчению зерна, является хорошим раскислителем, улучшает обрабатываемость и сопротивление коррозии.

Ниобий улучшает кислотостойкость и способствует уменьшению коррозии в сварных конструкциях.

Алюминий повышает жаростойкость и окалиностойкость.

Медь увеличивает антикоррозионные свойства, она вводится главным образом в строительную сталь.

Церий повышает прочность и особенно пластичность.

Цирконий оказывает особое влияние на величину и рост зерна в стали, измельчает зерно и позволяет получать сталь с заранее заданной зернистостью.

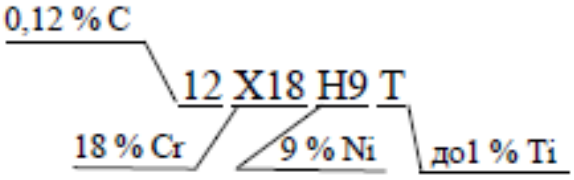
Лантан, цезий, неодим уменьшают пористость, способствуют уменьшению содержания серы в стали, улучшают качество поверхности, измельчают зерно.

Легирующие элементы, входящие в состав стали, в отечественной маркировке обозначают буквами русского алфавита:

алюминий (Al) – Ю	кобальт (Co) – К	никель (Ni) – Н
бериллий (Be) – Л	кремний (Si) – С	ниобий (Nb) – Б
бор (B) – Р	марганец (Mn) – Г	титан (Ti) – Т
ванадий (V) – Ф	медь (Cu) – Д	хром (Cr) – Х
вольфрам (W) – В	молибден (Mo) – М	цирконий (Zr) – Ц

азот – А (буква стоит в середине марки!)

Например:



12Х18Н10Т – высоколегированная конструкционная качественная сталь, спокойная, содержит 0,12 % углерода, 18 % хрома, 9 % никеля, до 1 % титана.

12Х4Н2А – среднелегированная конструкционная высококачественная сталь, спокойная, содержит 0,12 % углерода, 4 % хрома и 2 % никеля.

12ГН2МФАЮ – среднелегированная конструкционная качественная сталь, спокойная, содержит 0,12 % углерода, около 1 % марганца, 2 % никеля, по 1 % молибдена и ванадия, а также азот и алюминий.

30ХГС-Ш – особовысококачественная среднелегированная сталь, содержит 0,30 % углерода и до 1,5 % хрома, марганца и кремния (каждого элемента).

Практическое применение различных конструкционных сталей обусловлено их составом и возможностью изменения структуры и свойств с помощью различных видов обработки (пластическая деформация, термическая и химико-термическая обработка и т.д.).

Рассмотрим применение некоторых групп конструкционных сталей.

Низкоуглеродистые стали (***холоднодеформируемые***) содержат углерода не более 0,1 %, (05кп, 08, 10, 10пс) отличаются невысокой прочностью и хорошей пластичностью. Применяются без термической обработки для изготовления малонагруженных деталей – шайб, прокладок и т.д.

Цементуемые стали применяются для изготовления деталей, работающих под действием ударных нагрузок в условиях поверхностного износа. Детали должны сочетать высокую твердость и прочность поверхности, и достаточную ударную вязкость сердцевины (втулки, оси, валы, шпильки, кулачки, зубчатые колеса и т.п.). Цементации подвергаются низкоуглеродистые и низколегированные стали, содержащие углерода не более 0,25 %, например: сталь 10, 15, 20, 15Х, 20Х, 12ХН3А, 18ХГТ и т.д. Из углеродистых сталей изготавливают детали небольшого размера, работающие при невысоких нагрузках, легированные стали – для более крупных и тяжелонагру-

женных деталей. Для получения нужных свойств детали подвергают цементации, а также последующей закалке и низкому отпуску.

Улучшаемые стали – это среднеуглеродистые стали, содержащие 0,3–0,5 % углерода и не более 5 % легирующих элементов. Примеры марок: сталь 35, 40, 45, 30Х, 40Х, 30ХМ, 40ХГ, 30ХГТ, 40ХН, 38ХН3М и т.д. Стали подвергают термическому «улучшению», т.е. закалке и высокому отпуску. После термической обработки стали получают структуру сорбит и отличаются высокой прочностью, ударной вязкостью и малой чувствительностью к концентраторам напряжений.

Рессорно-пружинные стали применяются для изготовления рессор, пружин и других упругих элементов различных механизмов. При работе они испытывают многократные переменные нагрузки, под действием которых деформируются, а после прекращения действия нагрузки восстанавливают первоначальную форму и размеры. Стали подобного назначения должны отличаться высоким пределом упругости, высоким пределом выносливости, а также необходимой пластичностью и вязкостью. Пружинные стали содержат 0,5 – 0,7 % углерода, а также такие легирующие элементы, как кремний и марганец: сталь 65, 70, 60С2, 70С3А и др. В качестве обработки упругих элементов применяют закалку и средний отпуск для получения структуры троостит с высоким пределом упругости.

Подшипниковые стали – применяются для изготовления деталей подшипников качения (шарики, ролики, обоймы). Детали подшипников должны иметь высокую твердость, износостойкость и сопротивление знакопеременным нагрузкам (выносливость).

Подшипниковые стали маркируют буквами «ШХ», Ш – индекс данной группы сталей, содержание углерода более 1 %. Х – указывает на наличие в стали хрома. Последующее число показывает содержание хрома в десятых долях процента. Также указывают входящие в состав стали легирующие элементы.

Например:

ШХ4 – шарикоподшипниковая сталь, содержащая 0,4 % хрома;

ШХ15ГС – шарикоподшипниковая сталь, содержащая 1,5 % хрома и около 1 % марганца и кремния (каждого элемента).

Для работы в агрессивных средах применяют коррозионностойкую сталь 95Х18.

Термическая обработка состоит в закалке и низком отпуске.

Твердость после ТО должна составлять не менее 62HRC.

Автоматные стали применяются главным образом для изготовления крепежных деталей (болтов, гаек, шпилек) на быстроходных станках-автоматах. Для достижения повышенной обрабатываемости сталь содержит до 0,3 % серы и до 1,5 % фосфора. Стали обозначают буквой "А" в начале марки и числом, указывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Например:

А12 – автоматная сталь, содержащая 0,12 % углерода;

А40Г – автоматная сталь с 0,4 % углерода и повышенным до 1,5 % содержанием марганца.

Литейные стали – углеродистые и легированные – применяют для изготовления литых деталей различными методами литья, в том числе точного для фасонных деталей с минимальным объемом последующей механической обработки.

Марки сталей этой группы обозначают так же, как конструкционные качественные стали (углеродистые и легированные) двухзначным числом с добавлением буквы Л в конце марки, Примеры марок: 15Л, 20Л, 25Л, 45ХЛ, 35ХГЛ. Из литейных сталей получают отливки различных корпусных деталей, ступиц колес, дисков, зубчатых колес, муфт, маховиков и т.д.

Коррозионно-стойкие стали (нержавеющие) – это стали, устойчивые против электрохимической коррозии. Устойчивость стали против коррозии обеспечивается введением в ее состав элементов (например, хрома в количестве более 12 %), образующих на поверхности плотные, прочные защитные оксидные пленки, препятствующие непосредственному контакту стали с агрессивной средой, а также повышающие электрохимический потенциал стали в данной среде.

Коррозионно-стойкие стали разделяют на две основные группы: хромистые и хромоникелевые.

а) Хромистые коррозионно-стойкие стали применяют трех типов: с содержанием хрома 13, 17 и 25 - 28 %. Структура и свойства хромистых сталей зависят от количества хрома и углерода. Примеры марок: 08Х13, 12Х17, 15Х25Т, 15Х28.

б) Хромоникелевые коррозионно-стойкие стали имеют большую коррозионную стойкость, чем хромистые стали, их широко применяют в химической, нефтяной и пищевой промышленности, в автомобилестроении и т.д., при этом они более дорогие. Примеры марок: 04Х18Н10, 09Х17Н7Ю, 08Х22Н6Т.

Инструментальные стали

Степень раскисления инструментальных сталей – спокойные.

Углеродистые инструментальные стали: У7, У7А, У8, У8А, У8Г, У8ГА, У9, У9А, У10,У10А, У12, У12А.

Буква У в обозначении марки означает «углеродистая сталь», а число показывает содержание углерода в десятых долях процента. Углеродистые инструментальные стали могут выпускаться качественными и высококачественными (буква А в конце марки).

Например:

У8 – углеродистая инструментальная качественная сталь, содержащая 0,8 % углерода.

У13А – углеродистая инструментальная высококачественная сталь, содержащая 1,3 % углерода.

Инструмент из углеродистых сталей выдерживает при резании температуру нагрева лишь до 200 – 220 °С. Выше этих температур резко снижается твердость углеродистой инструментальной стали, поэтому инструмент из этих сталей нельзя применять на высоких скоростях резания, вызывающих большое тепловыделение и высокий нагрев поверхностей инструмента.

Стали У8, У8А, У9 (эвтектоидные) наиболее пластичные из углеродистых инструментальных сталей. Они идут на производство молотков, стамесок, долот, зубил. Термическая обработка – неполная закалка и средний отпуск, твердость 48 – 51 HRC.

Из сталей У10, У11, У11А изготавливают резцы, сверла, метчики, фрезы, плитки и прочий мерительный и режущий инструмент для резания мягких материалов. Стали У12, У13, У13А используются для изготовления инструмента, работающего без ударных нагрузок (напильники, рашпили, бритвы).

Термическая обработка – неполная закалка и низкий отпуск, твердость 62 – 64 HRC.

Легированные инструментальные стали: ХВ4Ф; 9ХС; 9ХФ; 9Г2Ф; 9Х5ВФ; ХВГ; Х12МФ; Х; ХГС; 4Х3ВМФ; ХВСГФ; В2Ф; Х12; Х12Ф1; 11Х4В2МФ3С2; Х6ВФ и другие.

Однозначное число впереди марки указывает среднее содержание углерода в десятых долях процента. Если впереди марки нет числа, это значит, что углерода в ней либо 1 %, либо выше 1 %.

Например:

9ХС – низколегированная инструментальная сталь, качественная, спокойная, содержит 0,9 % углерода, около 1 % хрома и кремния каждого элемента.

ХВСГ – среднелегированная инструментальная сталь, качественная, спокойная, содержит 1 % углерода, по 1 % хрома, вольфрама кремния и марганца.

Легированные инструментальные стали применяются для инструмента, обрабатывающего материалы невысокой прочности с небольшой скоростью резания.

Термическая обработка – неполная закалка и низкий отпуск, твердость 62 – 64 HRC.

Быстрорежущие стали: Р9; Р18; Р6М5; Р6М5Ф3; Р12Ф3; Р18К5Ф2; Р9К5; Р6М5К5, Р9М4К8; Р2АМ9К5 и другие.

Буква Р – индекс данной группы сталей (от «*rapid*» – скорость). Содержание углерода – более 1 %. Число показывает содержание основного легирующего элемента – вольфрама.

Если стали содержат легирующие элементы, то их содержание указывается после обозначения соответствующего элемента.

Например:

Р18 – инструментальная быстрорежущая сталь, содержащая 18 % вольфрама.

Р6М5К5 – инструментальная быстрорежущая сталь, содержащая 6 % вольфрама, 5 % молибдена, 5 % кобальта.

Термическая обработка – закалка со ступенчатым нагревом и многократный высокий отпуск, окончательная твердость 63 – 65 HRC.

Быстрорежущие стали используют для изготовления резцов, сверл, зенкеров, разверток.

Стали для измерительного инструмента.

Плоские инструменты (скобы, линейки, шаблоны) – сталь15, 20, 15Х, 20Х. Обработка – цементация, закалка, низкий отпуск.

Инструмент сложной формы – стали Х, 12Х1 и др. Термическая обработка – закалка, обработка холодом, низкий отпуск.

Штамповые стали.

а) Штампы холодного деформирования (например, вытяжные и вырубные штампы): стали У10 – У12, Х, ХСВГ, 9ХС, Х6ВФ, Х12 и др., подвергаются неполной закалке и низкому отпуску, твердость 60 – 63 HRC.

б) Штампы горячего деформирования: 3ХВ4СФ, 5ХНМ, 3ХВ4СФ. Термическая обработка – закалка и высокий отпуск.

Классификация и маркировка чугунов

В зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в сплавах, различают белые, серые, высокопрочные и ковкие чугуны.

Белый чугун получил такое название по виду излома, который имеет матово – белый цвет. Весь углерод в этом чугуне находится в связанном состоянии в виде цементита. Эти чугуны имеют большую твердость в виду присутствия цементита.

Серый чугун такое название получил по виду излома, который имеет серый цвет. В структуре серого чугуна имеется графит в форме пластин. Серый чугун обладает низким комплексом механических свойств: низкие прочностные свойства и практически нулевые пластические (главным образом из-за формы графитных включений). Однако этот чугун дешевый, обладает высокой жидкотекучестью, малой усадкой, хорошо гасит колебания (высокие демпфирующие свойства).

Серый чугун маркируется буквами: С – серый и Ч – чугун. После букв следуют цифры, указывающие минимальное значение предела прочности (временного сопротивления) кгс/мм^2 (10^{-1} МПа).

Например:

СЧ10 – серый чугун, предел прочности 10 кгс/мм^2 (100 МПа);

СЧ25 – серый чугун, предел прочности 25 кгс/мм^2 (250 МПа).

Из серого чугуна изготавливают блоки цилиндров двигателей, головки цилиндров, гильзы блоков цилиндров, картера сцеплений, коробок передач, маховики, тормозные цилиндры, барабаны и др.

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают путем модифицирования магнием. Чугуны с шаровидным графитом имеют более высокую прочность и при этом некоторую пластичность.

Высокопрочный чугун маркируется буквами: В – высокопрочный и Ч – чугун. После букв следуют цифры, указывающие мини мальное значение предела прочности (временного сопротивления) кгс/мм^2 (10^{-1} МПа).

Например:

ВЧ50 – высокопрочный чугун, предел прочности 50 кгс/мм^2 (500 МПа);

ВЧ120 – высокопрочный чугун, предел прочности 120 кгс/мм^2 (1200 МПа).

Высокопрочный чугун применяется для изготовления деталей повышенной усталостной прочности: коленчатых и распределительных валов, седел клапанов, шестерен масляного насоса и др.

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают в результате специального графитизирующего отжига доэвтектического белого чугуна. Ковкий чугун по сравнению с серым обладает более высокой прочностью.

Ковкий чугун маркируется буквами: К – ковкий и Ч – чугун. После букв следуют цифры, указывающие минимальное значение предела прочности (временного сопротивления) кгс/мм2 (10^{-1} МПа) и относительное удлинение (в %).

Например:

КЧ30-6 – ковкий чугун, предел прочности 30 кгс/мм^2 (300 МПа), относительное удлинение 6 %;

КЧ50-5 – ковкий чугун, предел прочности 50 кгс/мм^2 (500 МПа), относительное удлинение 5 %.

Ковкий чугун идет на изготовление деталей повышенной прочности и вязкости: картеров редукторов, коробок передач, кронштейнов рессор и др.

Практическая часть

Согласно вариантам задания (таблица 1.1) расшифровать марки указанных сплавов, указать область применения (пружинные, для режущего инструмента, улучшаемые и т.д.).

Пример выполнения.

Сталь 50Х – конструкционная легированная качественная сталь, спокойная. Содержание углерода – 0,5 % (среднеуглеродистая). Содержание легирующего элемента хрома в среднем 1 % (низколегированная). Рекомендуется для использования как улучшаемая сталь.

3. Контрольные вопросы

1 По каким признакам классифицируются стали и чугуны?

2 Что такое легирование и с какой целью оно применяется?

3 Каким образом обозначается вид и количество легирующего элемента в стали?

4 Как по марке определить содержание углерода в стали?

5 При каком содержании хрома стали становятся коррозионно-стойкими?

6 Что такое белый чугун?

7 Какие виды чугунов Вам известны?

8 Что обозначают числа в марках чугунов КЧ60 – 3, ВЧ60 – 2, СЧ15?

Таблица 1.1 – Варианты заданий

№ варианта	Марки черных сплавов
1	Ст3кп, 08Х20Н14С2, Р9, сталь05кп, СЧ25
2	11Х11Н2В2МФ, ШХ30, У11, сталь10, ВЧ45
3	25ХГСА, Р6М5Ф2К8, сталь50, У8А, КЧ50-5
4	45ХН3МФА, ШХ9, сталь20пс, А20, ВЧ80
5	10Х17Н13М2Т, А20, Ст6сп, У11А, 20Г
6	Ст5Гпс, 25Х13Н2, сталь15кп, 30Х2МЮА, ХВ4
7	16Х11Н2ВМФ, А40Г, ШХ15, СЧ10, Р9
8	45Х22Н4М3, У13, Ст2пс, ВЧ100, сталь30
9	31Х19Н9МВБТ, Р9, сталь45, КЧ45, ХСВГ
10	12Х18Н9Т, ШХ15ГС, А20, Х12М, сталь65
11	Ст3пс, 20Х, Р12, сталь20, У13А
12	Ст1сп, сталь35, 40ХН, Р6М5, У13А
13	38Х2МЮА, Ст4пс, 50Г, У7, Р6М5К5
14	36Х18Н25С2, А30, Ст2кп, КЧ60, А12
15	40ХМФА, Р9М3Ф2, А30, ВЧ80, сталь10кп
16	Ст0, 30Х13, Р6М5Ф2К8, СЧ15, сталь08
17	09Х16Н4Б, Ст3Г, ШХ6, СЧ18, уУ10, сталь15
18	45ХН3МФ-Ш, У11, А11, ВЧ70, сталь45пс
19	14Г2АФ, Р9М4К8, Ст5сп, СЧ24, ШХ4
20	15Х7Н2Т-Ш, Р6М5Ф2К8, ШХ9, КЧ63, сталь50

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧЕРНЫХ СПЛАВОВ

Теоретические сведения

Микроструктура и свойства сталей

Сталями называют железоуглеродистые сплавы, содержащие менее двух процентов углерода. Углерод является основным компонентом, влияющим на микроструктуру и свойства стали. После отжига, т.е. в равновесном состоянии, фазовый состав и микроструктура стали соответствуют диаграмме состояния «железо – углерод (цементит)» (рисунок 2.1). В железоуглеродистых сплавах в твердом состоянии образуются фазы: аустенит, феррит, цементит.

Аустенит (А) – твердый раствор углерода в γ-железе. Максимальная растворимость углерода в аустените составляет 2,14 % (точка Е на диаграмме состояния – рисунок 2.1). Аустенит имеет кубическую гранецентрированную решетку (ГЦК) и устойчиво существует при температурах выше 727 ºС (выше линии PSK – рисунок 2.1).

Феррит (Ф) – твердый раствор углерода в α-железе. Максимальная растворимость углерода в феррите составляет всего 0,025 % (точка Р на рисунке 3.1). Феррит имеет кубическую объемноцентрированную решетку (ОЦК) и устойчиво существует при температурах ниже 911 ºС (точка G – рисунок 2.1). Из-за малого содержания углерода свойства феррита близки свойствам железа.

Цементит (Ц) – карбид железа Fe3C – представляет собой химическое соединение углерода с железом. Он содержит 6,67 % углерода (ордината DFKL – рисунок 2.1), имеет сложную октаэдричесую решетку; хрупок и тверд.

При температурах ниже 727 ºС (линия PSK) все железоуглеродистые сплавы имеют одинаковый состав – смесь феррита и цементита. Чем больше углерода, тем больше цементита в стали и выше ее твердость, ниже пластичность и вязкость.

Микроструктура стали формируется в процессе охлаждения её из области аустенита при распаде последнего и зависит от содержания углерода.

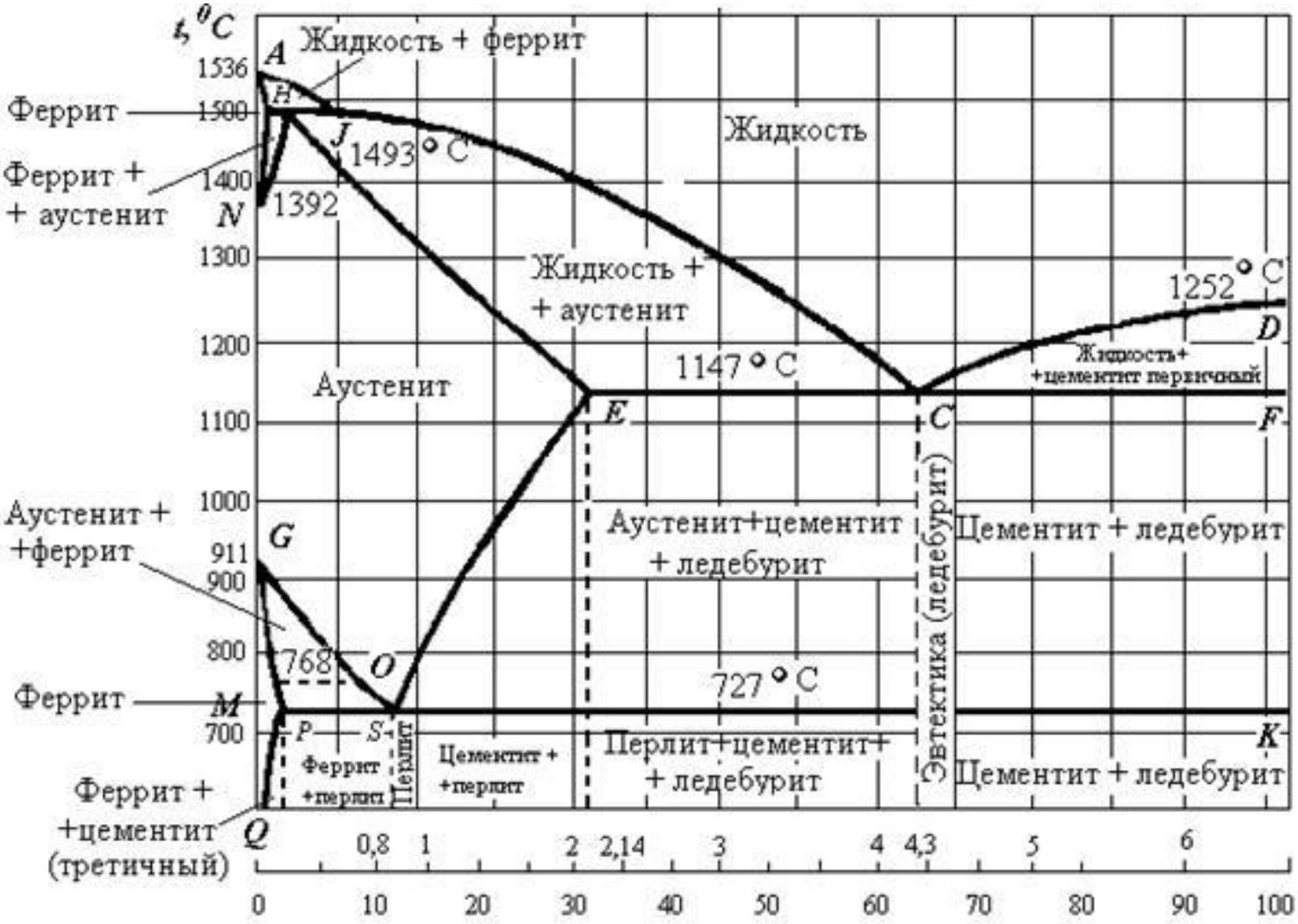


Рисунок 2.1 – Диаграмма состояния железо – углерод

Феррит (Ф) – однофазная структура, является продуктом диффузионного распада аустенита при его охлаждении ниже линии GS (см. рисунок 2.1). Феррит при травлении 4 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте имеет светлую окраску различной яркости.

После отжига в техническом железе и в низкоуглеродистой стали зерна феррита имеют равноосную (полиэдрическую) форму (рисунок 2.2, *а*, *б*). В среднеуглеродистых сталях феррит образует отдельные островки или сетку вокруг перлитных зерен (рисунок 2.2, *в*, *г*).

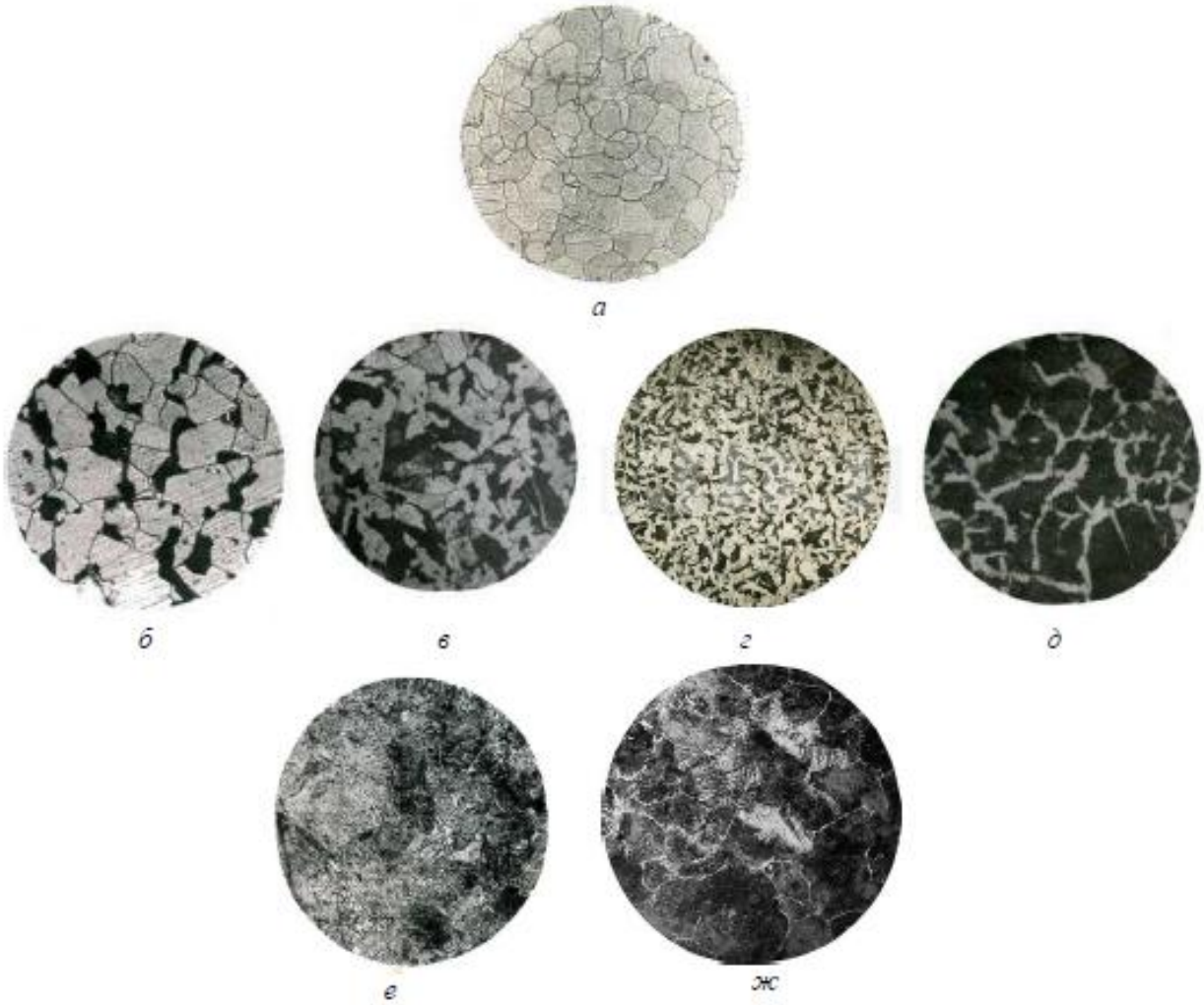
Цементит вторичный ($Ц_{II}$) – однофазная структура, выделяется из аустенита при охлаждении стали ниже линии ES вследствие уменьшения растворимости углерода в γ-железе. В медленно охлажденной стали цементит вторичный выделяется по границам аустенитных зерен, образуя сетку (см. рисунок 2.2, *ж*). При травлении 4 %-ным раствором азотной кислоты цементит сохраняет ярко-белую окраску (он твердый, хорошо полируется и хорошо отражает световые лучи).

Перлит (П) – двухфазная структура – продукт эвтектоидного распада аустенита при температуре 727 ºС (линия PSK – рисунок 2.1.) по схеме:

$$A_s \rightarrow Ф + Ц_{II}, \text{ т.е. } A_s \rightarrow \text{перлит } (Ф + Ц_{II}).$$

Перлит представляет собой смесь феррита и цементита, одновременно образующихся при распаде аустенита эвтектоидного состава (0,83 % углерода). Обычно перлит имеет пластинчатое строение – состоит из чередующихся пластин феррита и цементита, образующих зерна перлита (рисунок 2.3). Толщина пластин находится за пределами разрешающей способности линз оптического микроскопа, поэтому зерна перлита после травления 4 %-ным раствором азотной кислоты окрашиваются в темный цвет. При больших увеличениях (более 600 раз) и в оптический микроскоп можно увидеть, что перлит состоит из чередующихся пластин.

Цементит третичный ($Ц_{III}$) выделяется из феррита по линии PQ вследствие уменьшения растворимости углерода в α-железе от 0,025 % углерода в точке P до 0,006 % в точке Q. Однако выделяющийся цементит третичный в структуре стали металлографически не различается, так как сливается с цементитом перлита.



а – техническое железо, феррит; *б* – 0,2 % С, феррит + перлит;
в – 0,3 % С, феррит + перлит; *г* – 0,4 % С, феррит + перлит;
д – 0,6 % С, перлит + феррит; *е* – 0,8 % С, перлит;
ж – 1,2 % С, перлит и сетка цементита.

Рисунок 2.2 – Микроструктура сталей с различным содержанием углерода

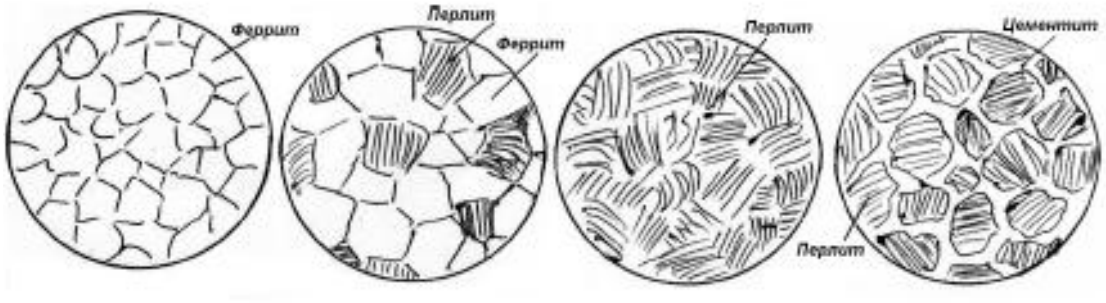


Рисунок 2.3 – Схемы зарисовки структуры стали

По микроструктуре все стали можно разделить на следующие группы.

Доэвтектоидные – содержат углерод от 0,025 до 0,8 %, имеют ферритно-перлитную структуру (Ф + П). Количество феррита и перлита зависит от содержания углерода в стали.

Чем больше перлита в структуре стали, тем выше ее прочность и твердость, ниже пластичность и вязкость.

Эвтектоидная сталь содержит 0,8 % углерода, структура – перлит (П).

Заэвтектоидные стали содержат углерод в количестве 0,80 – 2,0 %, структура – перлит и цементит вторичный (П + $Ц_{II}$).

В отожженной стали $Ц_{II}$ располагается по границам перлитных зерен в виде сетки. Т.к. цементит хрупок и тверд, расположение его в виде сетки повышает твердость стали, но снижает ее пластичность, вязкость и прочность. Количество цементита вторичного увеличивается с увеличением содержания в стали углерода.

Сплавы, содержащие менее 0,025 % углерода, называют техническим железом. Структура таких сплавов – феррит (С < 0,006 %) или феррит с включениями цементита третичного $Ц_{III}$. Цементит третичный выделяется по границам ферритных зерен в виде отдельных зерен или сетки.

Микроструктура и свойства чугунов

Чугунами называют железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2 % углерода. Углерод в чугунах может находиться как в связанном состоянии (в виде цементита), так и в структурно свободном (в виде графита). Количество графита и образующаяся металлическая основа чугунов зависит от степени графитизации чугуна, а форма графитовых включений – от способа производства.

По форме графитовых включений различают серый, ковкий и высокопрочный чугуны. По металлической основе – ферритные, перлитные, ферритно-перлитные чугуны.

Белый чугун. В белом чугуне весь углерод присутствует в виде цементита, поэтому он хрупкий, твёрдый и не применяется в качестве конструкционного материала для изготовления деталей машин.

Структура белого чугуна зависит от содержания углерода и соответствует диаграмме состояния «железо – цементит» (рисунок 2.1).

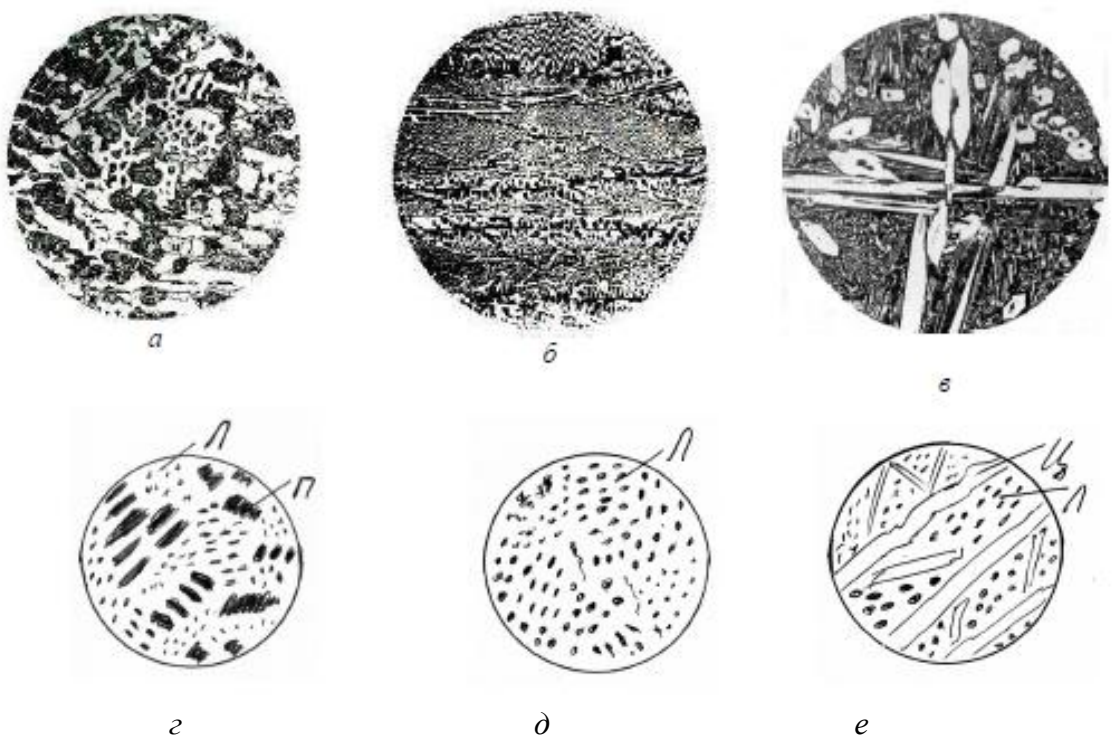
По структуре белые чугуны делятся на три группы (рисунок 2.4):

а) ***доэвтектические чугуны*** содержат углерода от 2 (точка Е диаграммы состояния) до 4,3 % (точка С), имеют структуру: перлит, цементит вторичный и ледебурит.

Ледебурит – продукт эвтектической кристаллизации жидкости при 1147 ^{o}С. В интервале температур 1147 – 727 ^{o}С ледебурит представляет собой смесь аустенита и цементита первичного. При темпе ратуре ниже 727 ^{o}С (линия PSK) ледебурит состоит из смеси перлита и цементита, т.к. на линии PSK аустенит превращается в перлит.

б) ***эвтектический чугун*** содержит 4,3 % углерода, структура – ледебурит, который образуется при кристаллизации жидкости на линии ECF.

в) ***заэвтектические чугуны*** содержат от 4,3 до 6,67 % углерода, структура – цементит первичный и ледебурит. Цементит первичный выделяется из жидкости в виде светлых пластин прямоугольной формы.



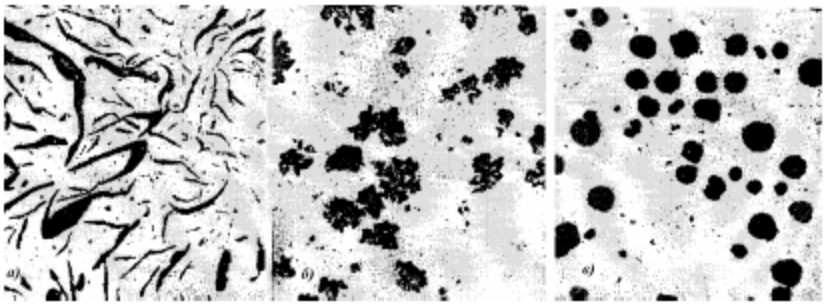
а – доэвтектический белый чугун; *б* – эвтектический белый чугун;
в – заэвтектический белый чугун; Л – ледебурит; П – перлит; Ц – цементит.

Рисунок 2.4 – Микроструктура белого чугуна – фотографии и схемы зарисовки

Серый чугун содержит 2,5 – 3,8 % С. В этих чугунах углерод весь или частично присутствует в виде графита, который имеет пластинчатую форму (рисунок 2.5, *а*). Форма графитовых включений хо-

рошо видна на полированной нетравленой поверхности шлифа. Графит образуется при распаде цементита (первичного, вторичного или эвтектоидного). Образованию графита способствуют медленное охлаждение жидкого чугуна и кремний, присутствующий в чугуне (1,5 – 3,0 %).

Металлическая основа серого чугуна может быть ферритной, ферритно-перлитной или перлитной и зависит от степени графитизации:



а – пластинчатая; *б* – хлопьевидная; *в* – шаровидная

Рисунок 2.5. – Форма включений графита в чугунах (фотографии)

а) ***ферритный*** – весь углерод присутствует в виде графита. Структура – феррит и графит (рисунок 3.6). Марки: СЧ10;

б) ***перлитный***; из общего количества углерода около 0,8 % остаётся в связанном состоянии, а остальной графитизирован. Структура – перлит и включения графита. Марки: СЧ15, СЧ20;

в) ***ферритно-перлитный***. Из общего количества углерода менее 0,8 % находится в связанном состоянии в виде цементита, а остальной – в виде графита. Структура – феррит, перлит и графит. Марки: СЧ25, СЧ30, СЧ35.

Высокопрочный чугун содержит 2,5 – 3,5 % С и отличается глобулярной (шаровидной) формой графитных включений (рисунок 5.4, в), что повышает механическую прочность чугуна. Получают его путём модифицирования серого чугуна магнием. По металлической основе высокопрочный чугун может быть ферритным (ВЧ35, ВЧ40), ферритно-перлитным (ВЧ45, ВЧ50) и перлитным (ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80).

Ковкий чугун содержит 2,5 – 3 % С, отличается хлопьевидной формой графитовых включений (см. рисунок 3.5, б). Такой чугун получают путём специальной термической обработки (графитизирующего отжига) отливок из белого чугуна (рисунок 3.7). В процессе вы-

держки цементит разлагается с образованием графита хлопьевидной формы (графит отжига). По металлической основе ковкий чугун также может быть ферритным (КЧ 30-6, КЧ 33-8, КЧ 35-10, КЧ 37-12) и перлитным (КЧ 45-7, КЧ 50-5, КЧ 60-3, КЧ 70-2, КЧ 80-1,5).

Металлическая основа	Форма графитных включений		
	пластинчатая	хлопьевидная	шаровидная
Феррит			
Феррит+перлит			
Перлит			

Рисунок 2.6 – Схемы зарисовки микроструктуры различных чугунов

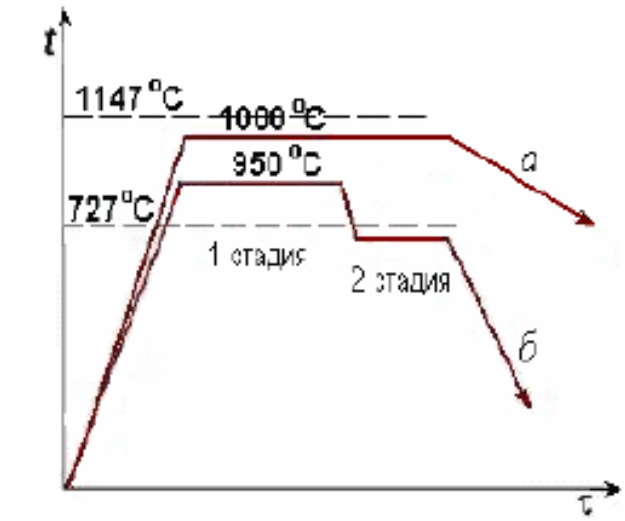


Рисунок 2.7 – Режимы отжига для получения перлитного (*а*) и ферритного (*б*) ковкого чугуна

Практическая часть

Зарисовать микроструктуры сталей с различным содержанием углерода. Объяснить влияние содержания углерода на микроструктуру и свойства сталей.

Зарисовать микроструктуры различных видов чугунов, объяснить влияние формы графитовых включений на свойства чугунов.

Контрольные вопросы

1. Какие фазы в твердом состоянии образуются в железоуглеродистых сплавах? Дайте их определение.
2. Какие структурные составляющие возникают в сталях? Дайте их определение, укажите температурные и концентрационные условия их образования.
3. На какие группы по структуре делятся углеродистые стали? Как влияет углерод на структуру и свойства сталей?
4. Какие сплавы называют чугунами (их состав)?
5. В каком виде присутствует углерод в чугунах?
6. Какой чугун называют белым? На какие группы делят белый чугун по структуре?
7. От чего зависит металлическая основа чугуна?
8. Способ производства и структура серых чугунов.
9. Способ производства и структура высокопрочных чугунов.
10. Способ производства и структура ковких чугунов.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Теоретические сведения

Термической обработкой стали называется технологический процесс, заключающийся в нагреве стали до определенной температуры, выдержке и последующем охлаждении с заданной скоростью.

При термической обработке необходимые свойства сталь получает, изменяя свою структуру без изменения химического состава.

Стали подвергаются следующим основным видам термической обработки: отжигу, нормализации, закалке, отпуску.

Отжиг – операция термической обработки, заключается в нагреве стали до заданной температуры, выдержке и медленном охлаждении (с печью).

Цели отжига:

1. снять внутренние напряжения, возникшие в материале в результате предшествующей обработки;
2. получить минимальную твердость сплава;
3. исправить перегретую (крупнозернистую) структуру – т.е. устранить этот вид брака;
4. выровнять химический состав сплава (устранить дендритную ликвацию).

Режимы отдельных видов отжига приведены на рисунке 3.1.

Рассмотрим некоторые виды отжига *доэвтектоидных* сталей.

Доэвтектоидными называются стали, содержащие С < 0,8 %, структура при комнатной температуре Ф + П.

1) ***Неполный отжиг*** – температура нагрева лежит на 30 – 50 градусов выше нижней критической точки стали:

$$T_н = A_{c1} + (30…50)\ ^oC.$$

Нагрев при неполном отжиге сопровождается частичной фазовой перекристаллизацией и приводит к исправлению (измельчению) перлитной (П) составляющей. Структурная составляющая феррит (Ф) не претерпевает изменений, т.е. остается крупным:

$$Ф + П \overset{нагрев}{\longrightarrow} Ф + А \overset{охлаждение}{\longrightarrow} Ф + П.$$

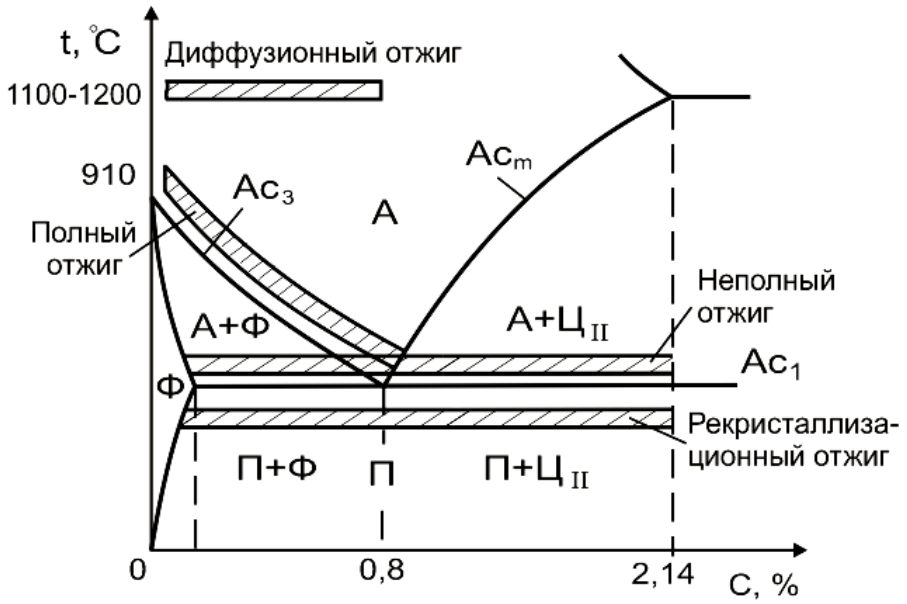


Рисунок 3.1 – Области температур нагрева для различных видов отжига стали

Таким образом, если исходная структура стали – крупнозернистая, то после такой обработки измельчается только одна составляющая.

Вывод: неполный отжиг – измельчает перлит, снимает напряжения, уменьшает твердость стали. Применение для доэвтектоидных сталей нецелесообразно за счет неполного исправления структуры.

График термической обработки неполный отжиг представлен на рисунке 3.2.

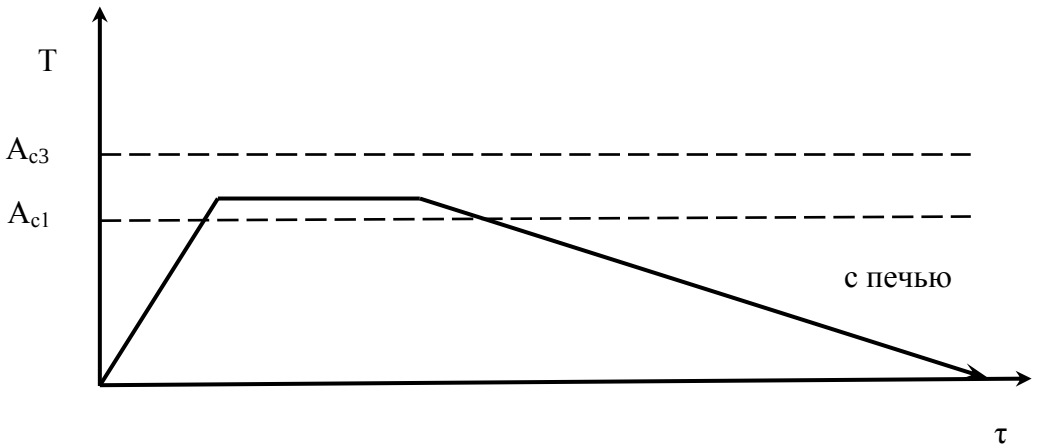


Рисунок 2.2 – График термической обработки неполный отжиг

2) ***Полный отжиг*** – температура нагрева лежит на 30 – 50 градусов выше верхней критической точки стали: $T_н = A_{c3} + (30…50)$ °C.

Нагрев при таком отжиге приводит к полной фазовой перекристаллизации и, как следствие, к исправлению перегретой структуры. При нагреве в интервал указанных температур образуется мелкое аустенитное зерно, из которого при охлаждении с малой скоростью формируется мелкая ферритно-перлитная структура.

$$Ф + П \overset{нагрев}{\longrightarrow} А \overset{охлаждение}{\longrightarrow} Ф + П.$$

Вывод: полный отжиг – полностью измельчает структуру стали, снимает напряжения, уменьшает твердость. Для доэвтектоидных сталей применяется.

График термической обработки полный отжиг представлен на рисунке 3.3.

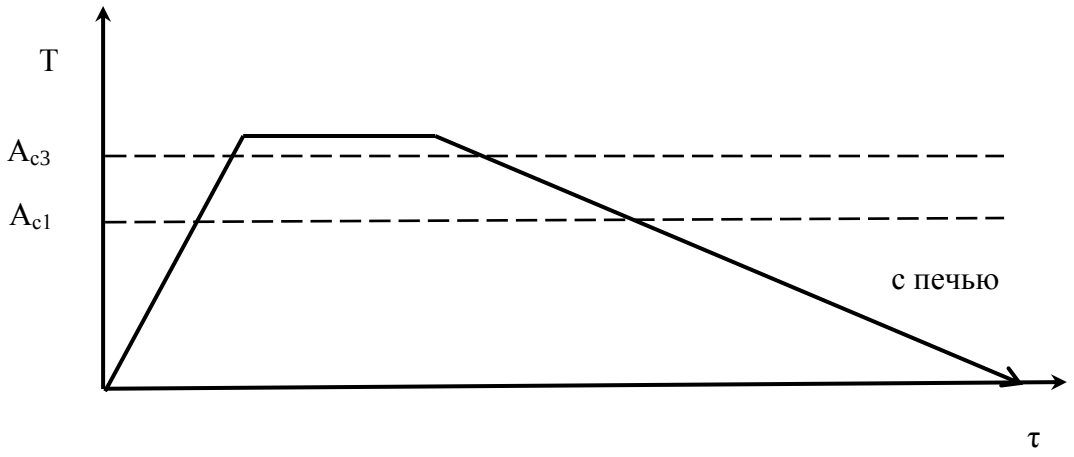


Рис. 3. График термической обработки полный отжиг

Рассмотрим отжиг *заэвтектоидных* сталей.

Заэвтектоидными называются стали, содержащие C > 0,8 %, структура при комнатной температуре П + $Ц_{II}$ (сетка).

1) ***Неполный отжиг*** – температура нагрева лежит на 30 – 50 градусов выше нижней критической точки стали:

$$T_н = A_{c1} + (30…50)\ ^oC.$$

Нагрев при неполном отжиге сопровождается частичной фазовой перекристаллизацией и приводит к исправлению (измельчению) перлитной (П) составляющей. Структурная составляющая цементит ($Ц_{II}$) не претерпевает изменений, т.к. и в исходной структуре, и в нагретом состоянии, и после охлаждения присутствует в виде сетки:

$$П + Ц_{II} \xrightarrow{\text{нагрев}} А + Ц_{II} \xrightarrow{\text{охлаждение}} П + Ц_{II}$$

Вывод: неполный отжиг – исправляет структуру стали, снимает напряжения, уменьшает твердость. Применение для заэвтектоидных сталей целесообразно, т.к. поставленные цели достигаются.

2) ***Полный отжиг*** – температура нагрева лежит на 30 – 50 градусов выше верхней критической точки стали: $T_н = A_{cm} + (30…50)\ ^oC$

При этом в структуре стали происходят превращения:

$$П + Ц_{II} \xrightarrow{\text{нагрев}} А \xrightarrow{\text{охлаждение}} П + Ц_{II}$$

Вывод: применение полного отжига для заэвтектоидных сталей нецелесообразно, т.к. достигаются те же цели, что и после неполного отжига, но при больших затратах времени и топлива (электроэнергии) для проведения ТО.

Нормализация – нагрев стали выше верхней критической температуры, выдержка, охлаждение на воздухе.

Температура нагрева в зависимости от принадлежности стали к структурной группе выбирается следующим образом (рисунок 3.4):

$T_н = A_{c3} + (30…50)\ ^oC$ (доэвтектоидные стали);
$T_н = A_{cm} + (30…50)\ ^oC$ (заэвтектоидные стали).

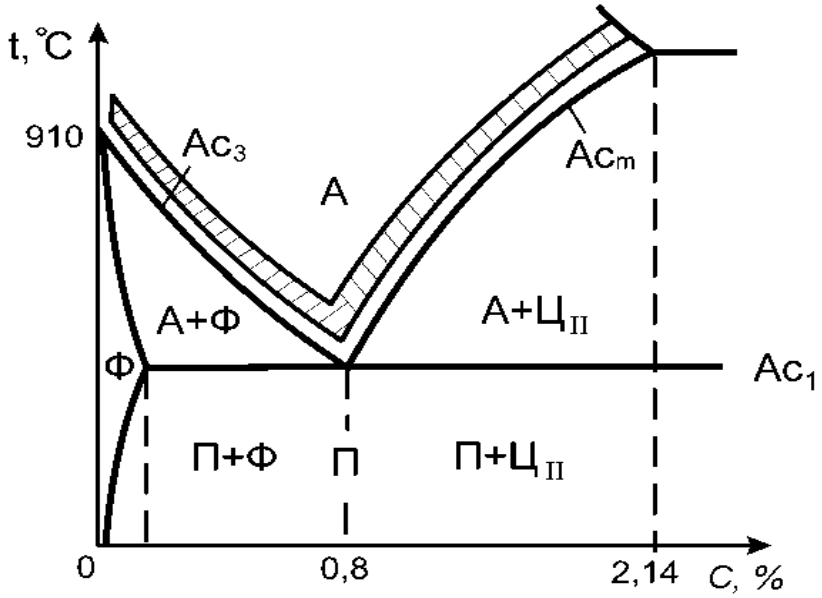


Рисунок 3.4 – Области температур нагрева для нормализации

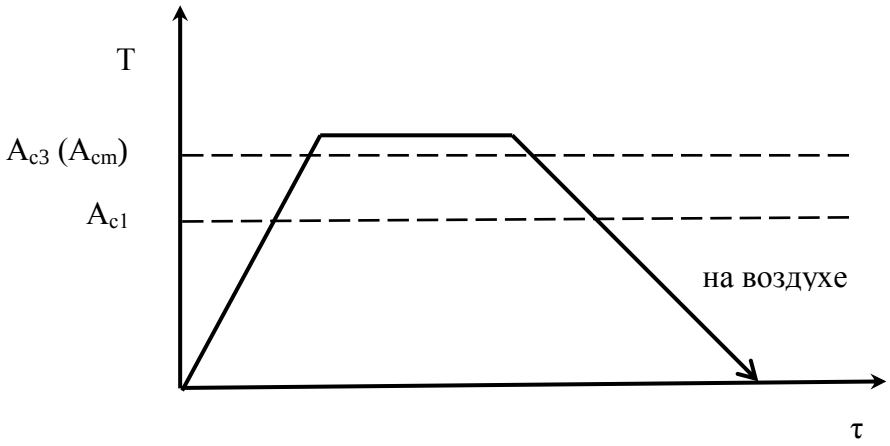


Рисунок 3.5 – График термической обработки нормализация

Цели нормализации: измельчает структуру, повышает твердость и ударную вязкость (доэвтектоидные стали), в заэвтектоидных сталях устраняет цементитную сетку.

При нормализации происходят превращения:

$$\text{Ф} + \text{П} \overset{\text{нагрев}}{\longrightarrow} \text{А} \overset{\text{охлаждение}}{\longrightarrow} \text{Ф} + \text{П} \text{ (доэвтектоидные стали)}$$

$$\text{П} + \text{Ц}_{II} \overset{\text{нагрев}}{\longrightarrow} \text{А} \overset{\text{охлаждение}}{\longrightarrow} \text{псевдоП (заэвтектоидные стали)}$$

За счет ускоренного охлаждения на воздухе конечная структура получается гораздо мельче, чем после отжига, а в заэвтектоидных сталях цементит не успевает выделиться, в результате в структуре образуется неравновесный перлит с не характерным для него завышенным содержанием углерода (псевдоперлит).

Закалка – нагрев стали выше температур фазовых превращений A_{c3} или A_{c1}, выдержка и охлаждение со скоростью выше верхней критической.

Цель закалки – повысить твердость и прочность стали за счет образования структуры мартенсита. Однако данная структура отличается хрупкостью и низкой пластичностью.

Необходимая скорость для закалки углеродистых сталей обеспечивается охлаждением в воде.

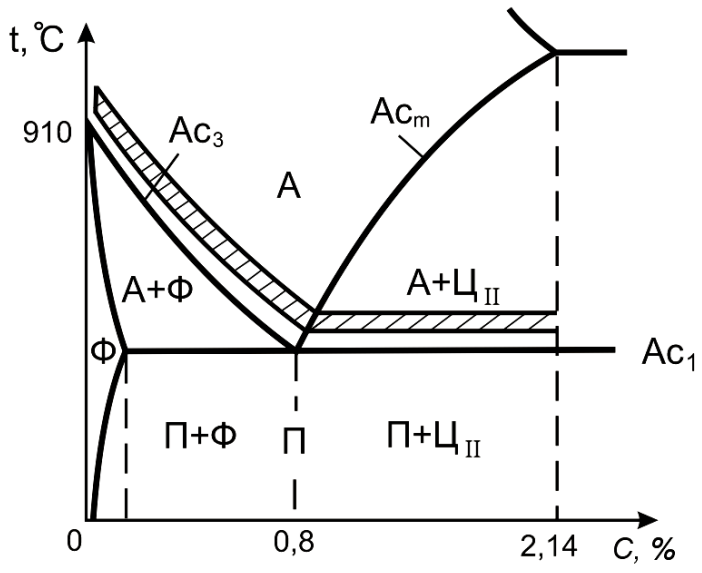


Рисунок 3.6 – Области температур нагрева для закалки стали

Рассмотрим выбор температуры нагрева под закалку сталей *доэвтектоидных*.

1) ***Полная закалка*** $T_н = A_{c3} + (30…50)$ °C.

В структуре происходит превращение:

$$Ф + П \overset{нагрев}{\longrightarrow} А \overset{охлаждение}{\longrightarrow} М$$

Результат – повышение твердости и прочности стали, цель термической обработки достигнута.

2) ***Неполная закалка*** $T_н = A_{c1} + (30…50)$ °C

В структуре происходит превращение:

$$Ф + П \overset{нагрев}{\longrightarrow} Ф + А \overset{охлаждение}{\longrightarrow} Ф + М$$

Цель закалки (повышение твердости и прочности) не достигнута, т.к. присутствующий в структуре феррит Ф эти свойства снижает.

Вывод: для упрочнения доэвтектоидных сталей применяется полная закалка.

Рассмотрим процессы, происходящие при закалке в сталях *заэвтектоидных*.

1) ***Полная закалка*** $T_н = A_{cm} + (30…50)$ °C.

В структуре происходит превращение:

$$П + Ц_{II} \overset{нагрев}{\longrightarrow} А \overset{охлаждение}{\longrightarrow} М$$

В результате из-за высоких температур нагрева получают крупноигольчатый мартенсит, который отличается повышенной хрупкостью.

Поэтому такая обработка для заэвтектоидных сталей не применяется.

2) *Неполная закалка* $T_н = A_{c1} + (30…50)\ ^oC$

В структуре происходит превращение:

$$П + Ц_{II} \xrightarrow{\text{нагрев}} A + Ц_{II} \xrightarrow{\text{охлаждение}} M + Ц_{II}$$

Заэвтектоидные стали применяются для изготовления инструмента, Такие изделия должны отличаться высокой твердостью и износостойкостью. Твердость обеспечивает высокоуглеродистый мартенсит, а присутствующий в структуре цементит способствует повышению износостойкости.

Следовательно, неполная закалка для заэвтектоидных сталей целесообразна.

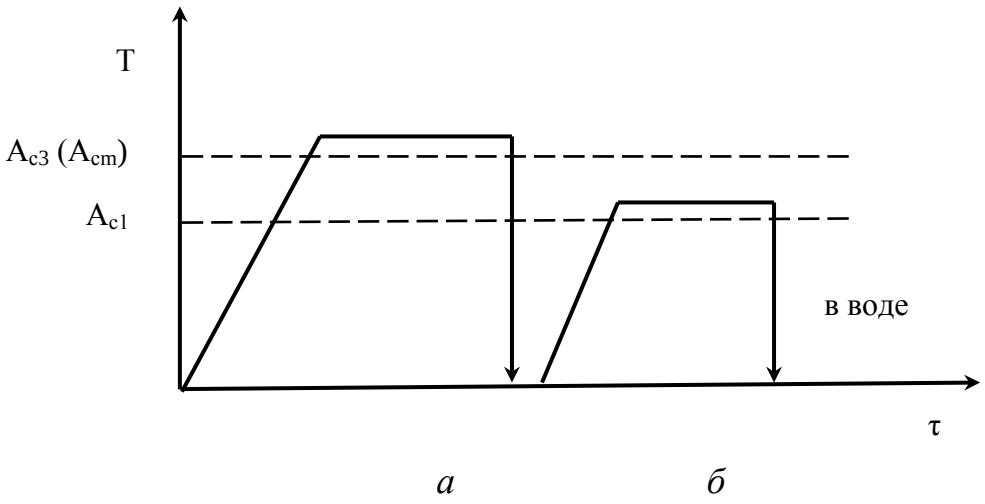


Рисунок 3.7 – Графики термической обработки
закалка полная (*а*) и неполная (*б*)

Отпуск – это нагрев закаленной стали до температуры ниже A_{c1} и выдержка с последующим охлаждением на воздухе. Его цель – снять напряжения, возникшие при закалке, и получить структуру с заданным комплексом механических свойств.

Применяются три вида отпуска.

Низкий отпуск проводят при температуре 150 – 200 °С с получением структуры мартенсит отпуска $М_о$ (58 – 60 HRC). Применяется в основном для инструментальных сталей.

Средний отпуск проводят при температуре 350 – 450 °С на структуру троостит отпуска $Т_о$. Применяется для пружинных сталей.

Высокий отпуск – при температуре 550 – 650 °С на структуру сорбит отпуска $С_о$. Применяют для конструкционных улучшаемых сталей, так как структура сорбита отпуска обладает хорошим комплексом механических свойств (прочность, пластичность, вязкость).

Закалка с последующим высоким отпуском называется улучшением стали.

Закалка в сочетании с отпуском является окончательным видом термической обработки изделий.

Практическая часть

Используя диаграмму состояния железо – цементит, установите температуру термической обработки для указанной стали. Охарактеризуйте этот вид термической обработки, опишите получаемую структуру и свойства стали (таблица 3.1).

Контрольные вопросы

1. Какие превращения протекают в доэвтектоидной стали при нагреве выше точки $А_{с1}$?
2. Какие превращения протекают при нагреве доэвтектоидной стали в интервале температур $А_{с1}$ – $А_{с3}$?
3. Какой вид термической обработки называют отжигом, нормализацией, закалкой?
4. Какие виды отжига Вам известны?
5. Какова температура неполного отжига?
6. Как охлаждают сталь при нормализации?
7. С какой целью применяется закалка?
8. Какие виды закалки Вам известны?
9. Какую структуру имеет правильно закаленная сталь?
10. Что такое отпуск и для чего он применяется?
11. Как строится график термической обработки?

Таблица 3.1 – Варианты заданий

№ варианта	Марка стали	Вид ТО
1	Сталь 35	Отжиг
2	У10	Закалка
3	Сталь 45	Нормализация
4	У13	Отжиг
5	Сталь 60	Закалка
6	У10	Нормализация
7	Сталь 60	Отжиг
8	У12	Закалка
9	Сталь 35	Нормализация
10	У10	Отжиг
11	Сталь 45	Закалка
12	У13	Нормализация
13	У12	Отжиг
14	Сталь 35	Закалка
15	Сталь 60	Нормализация
16	Сталь 45	Отжиг
17	У13	Закалка
18	У12	Нормализация

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

ВЫБОР РЕЖИМОВ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Теоретические сведения

Термическая обработка является самым распространенным способом управления свойствами металлических материалов. В зависимости от занимаемого места в технологическом процессе различают предварительную и окончательную ТО.

Предварительная ТО, как правило, производится для улучшения технологических свойств заготовок (перед обработкой резанием, холодной штамповкой, прокаткой и т.п.). В качестве предварительной ТО для сталей чаще всего применяют различные виды отжига, иногда – нормализацию. В результате отжига получают мелкозернистую равновесную феррито-перлитную структуру с хорошей обрабатываемостью, но низкой прочностью. При повышенных требованиях к прочности сердцевины деталей, работающих без больших механических нагрузок, применяют нормализацию.

Окончательная ТО применяется для придания деталям требуемых эксплуатационных свойств. В качестве окончательной ТО для сталей чаще всего применяют закалку с отпуском, а для многих высокопрочных цветных сплавов – закалку со старением.

В зависимости от условий работы деталей различного назначения, их могут подвергать химико-термической обработке – чаще всего цементации или нитроцементации с последующей закалкой и низким отпуском, а также азотированию. Для поверхностного упрочнения стальных деталей могут применяться пластическое деформирование, лазерная и газопламенная закалка, закалка в электролитах, хромирование, алитирование, борирование, силицирование, напыление или наплавление износостойких и коррозионностойких покрытий.

Режимы термической и химико-термической обработки стальных деталей выбираются по справочникам.

Температура нагрева и выдержка при температуре термической и химико-термической обработки должны обеспечить прохождение необходимых фазовых превращений, скорость охлаждения выбирается в зависимости от требований к свойствам конечной структуры.

Так, при отжиге заготовки охлаждают медленно (с печью), при нормализации – на спокойном воздухе, при закалке – в соответствующих средах. Закалочные среды должны обеспечить скорость охлаждения выше критической скорости закалки в интервале температур аустенитно-перлитного превращения и замедленное охлаждение в интервале мартенситного превращения. Для закалки углеродистых сталей чаще всего применяется вода, для закалки легированных сталей – минеральные масла, водные растворы и расплавы солей.

Температура отпуска выбирается (низкий, средний, высокий), исходя из необходимого уровня показателей прочности и химического состава стали.

Выбор оптимальной толщины упрочненного слоя после поверхностной закалки и химико-термической обработки определяется условиями работы детали.

Цементация и нитроцементация применяется для деталей машин, которые должны иметь хорошую износостойкость, высокую прочность при изгибе, выносливость (зубчатые колеса, валы, шпиндели, крупногабаритные подшипники качения и т.д.). Твердость поверхности после цементации и нитроцементации достигает значений 58 – 64 HRC. Показатели прочности и пластичности сердцевины обеспечиваются выбором марки стали.

Технологический процесс химико-термической обработки цементованных деталей состоит из предварительной термической обработки, обеспечивающей необходимую обрабатываемость резанием и исходную микроструктуру (отжиг, нормализация или высокий отпуск), операции насыщения поверхности стальной детали углеродом (цементация) и окончательной термической обработки для получения необходимой структуры и свойств поверхности (закалка и низкий отпуск).

Операция цементации может проводиться в твердом карбюризаторе, газовой эндотермической атмосфере с добавкой природного газа или в газовых продуктах разложения жидкого карбюризатора (керосина, синтина). Температура процесса цементации составляет 900 – 959 ^{o}C. Продолжительность процесса зависит от температуры нагрева необходимой толщины слоя.

В случае применения газовой цементации наследственно мелкозернистых сталей закалка осуществляется непосредственно из цементационной печи после подстуживания изделия до 840 – 860 ^{o}C. Последующий низкий отпуск снимает закалочные напряжения.

Если цементации в твердом карбюризаторе подвергаются наследственно крупнозернистые стали, то после насыщения углеродом применяется двойная термическая обработка и отпуск: нормализация измельчает зерно, неполная закалка обеспечивает получение мартенсита в поверхностном слое, низкий отпуск – снимает напряжения.

Выбор марки стали для цементации осуществляют исходя из размеров детали и требований к ее прочности.

Так, для деталей небольших размеров, работающих на износ и не требующих высокой прочности сердцевины, применяются углеродистые стали 10, 15, 20.

Для деталей малых и средних размеров, работающих при повышенных удельных нагрузках, целесообразно применить стали марок 15Х, 20Х, 15Г, 20Г.

Детали средних размеров, работающие при высоких удельных нагрузках, изготавливаются из сложнолегированных сталей: 12ХН3А, 18ХГТ, 25ХГТ, 18ХГМ.

Для деталей больших сечений, работающих при высоких удельных нагрузках, применяются стали 12Х2Н4А, 18Х2Н4ВА, 18Х2Н4МА.

Нитроцементация осуществляется при температуре 840 – 860 ^{o}C в среде эндотермического газа с добавкой природного газа и аммиака. Для нитроцементации применяют те же стали, что и для цементации. После насыщения поверхности стального изделия углеродом и азотом наследственно мелкозернистые стали закаливают непосредственно из печи, наследственно крупнозернистые – после повторного нагрева. После закалки применяется низкий отпуск.

Азотирование применяется для деталей машин, подвергающихся изнашиванию и испытывающих небольшие контактные нагрузки (шпиндели, зубчатые колеса, детали топливной арматуры, клапаны, коленчатые и распределительные валы, гильзы цилиндров двигателей, направляющие скольжения и ходовые винты металлорежущих станков и др.). Для азотирования обычно применяют среднеуглеродистые легированные стали: 38Х2МЮА, 35ХМА, 38Х2Ю, 38Х2ВФЮА, а также некоторые штамповые стали: 3Х2В8, 5ХНМ. В результате азотирования возрастает прочность и твердость поверхности (HV = 6500 – 12000 МПа), значительно увеличивается выносливость и сопротивление коррозии. Показатели прочности сердцевины обеспечиваются выбором марки стали предварительной термической обработкой (закалка с высоким отпуском).

Поверхностная закалка ТВЧ применяется для деталей машин, испытывающих при эксплуатации изгиб, кручение, высокие контактные напряжения (коленчатые и распределительные валы, зубчатые колеса и т.д.). Для поверхностной индукционной закалки применяют стали с содержанием углерода 0,4 – 0,5 %, которые после закалки имеют высокую твердость (50 – 60 HRC) и износостойкость, не склонны к хрупкому разрушению. Если наряду с высокой твердостью поверхности предъявляются требования к прочности и вязкости сердцевины, используют легированные стали, например, 40Х, 40ХН, 40ХНМ и др. после нормализации или улучшения. Выбор марки осуществляется исходя из размеров детали и прокаливаемости стали.

Практическая часть

Согласно варианту задания (таблица 4.1) назначьте режимы термической обработки стали предложенной марки, укажите состав и назначение стали, опишите сущность происходящих превращений при термической обработке, микроструктуру и свойства.

Пример задания: назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска деталей машин из стали 50Х. Укажите состав и назначение стали, опишите сущность происходящих превращений при термической обработке, микроструктуру и свойства.

Пример выполнения.

Сталь 50Х – конструкционная легированная качественная сталь, спокойная. Содержание углерода – 0,5 % (среднеуглеродистая). Содержание легирующего элемента хрома в среднем 1 % (низколегированная).

50Х относится к улучшаемым сталям – подвергается термической обработке, состоящей в полной закалке и последующем высоком отпуске. После ТО сталь получает структуру сорбит и отличается высокой прочностью, ударной вязкостью и малой чувствительностью к концентраторам напряжений. Применяется для изготовления изделий типа валы, шатуны, оси, зубчатые колеса и т.д.

Критические температуры: A_{c1} = 720 ^{o}C, A_{c3} = 770 ^{o}C (*справочные данные*).

Температура нагрева под закалку должна быть выше A_{c3} (полная закалка), (согласно справочникам 830 ^{o}C), охлаждение – в масле (т.к. сталь легированная). Далее – высокий отпуск при температуре 520 ^{o}C (согласно справочным данным).

Исходная структура стали феррит+перлит в нагретом состоянии превращается в однородный мелкозернистый аустенит, который после быстрого охлаждения при полной закалке превращается в мартенсит. После высокого отпуска мартенсит превращается в сорбит отпуска.

Механические свойства стали после ТО (*справочные данные*):

- предел прочности при растяжении $\sigma_в$ = 1100 МПа;
- относительное удлинение δ = 9 %;
- относительное сужение ψ = 40 %;
- ударная вязкость KCU = 50 Дж/см^2

Контрольные вопросы

1. Чем химико-термическая обработка отличается от других видов термической обработки?
2. Что такое карбюризаторы?
3. Какие стали подвергают цементации?
4. От каких параметров зависит глубина слоя при химико-термической обработке?
5. С какой целью делают цементацию?
6. Для чего применяют после цементации закалку?
7. Для чего перед азотированием производят улучшение?

Таблица 3.1 – Варианты заданий

№ варианта	Содержание задания
1	2
1	Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска пружин из стали 70. Укажите состав и назначение стали. Опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и свойства стали после термической обработки
2	Для изготовления резцов выбрана сталь Р6М5. Укажите состав и назначение стали. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие при термической обработке данной стали. Опишите микроструктуру и главные свойства резцов после термической обработки

Продолжение таблицы 4.1

1	2
3	Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска деталей машин из стали 40ХН. Укажите состав и назначение стали, опишите сущность происходящих превращений при термической обработке, микроструктуру и свойства
4	Для изготовления метчиков выбрана сталь У10. Укажите состав и назначение стали, назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование и укажите структуру и свойства метчиков в готовом виде
5	В результате термической обработки полуоси должны получить повышенную прочность по всему сечению. Для их изготовления выбрана сталь 40ХН. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование. Опишите структуру и свойства стали после термической обработки
6	Для изготовления пресс-форм выбрана сталь 3Х2В8. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки. Опишите структуру и свойства пресс-форм после термической обработки
7	В результате термической обработки пружины должны получить высокую упругость. Для изготовления их выбрана сталь 60С2ХФА. Укажите состав и назначение стали, обоснуйте режим термической обработки, объясните влияние легирования на превращения, происходящие при термической обработке данной стали. Опишите структуру и свойства пружин после термической обработки
8	Для изготовления разверток выбрана сталь ХВСГ. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки. Опишите микроструктуру и свойства разверток после ТО
9	Для изготовления деталей подшипников качения выбрана сталь ШХ9. Расшифруйте состав сплава и укажите, к какой группе сплавов по назначению он относится. Опишите структуру и свойства сплава после термической обработки
10	В результате термической и химико-термической обработки шестерни должны получить твердый износоустойчивый поверхностный слой при вязкой сердцевине. Для изготовления их выбрана сталь 18ХГТ. Укажите состав и определите группу стали по назначению. Назначьте и обоснуйте режим термической, химико-термической обработки. Опишите микроструктуру и свойства поверхности и сердцевины шестерни после термической обработки

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Теоретические сведения

Металлопродукция из цветных сплавов имеет весьма широкий и разнообразный ассортимент. Это связано в первую очередь с тем, что к цветным относят все металлы и сплавы, кроме сплавов на основе железа. Различия в технологии производства цветных сплавов и требования к свойствам, области их применения даже одной и той же системы могут существенно отличаться, что приводит к многообразию систем маркировок.

Цветные сплавы маркируют прописными буквами русского алфавита и числами. Первые (одна или две) буквы обозначают тип сплава (группа цветных металлов и сплавов), последующие буквы указывают название легирующих элементов.

Буквенное обозначение различных групп цветных сплавов:

А – алюминий и алюминиевые сплавы;

Б – баббит;

Бр – бронза;

В – высокопрочные алюминиевые сплавы;

ВТ, ОТ, ПТ, АТ – титановые сплавы;

Д – дюралюминий;

Л – латунь;

М – медь и медно-никелевые сплавы;

МА – магниевые деформируемые сплавы;

МЛ – магниевые литейные сплавы;

Н – никель и никелевые сплавы;

П – припой;

Ц – цинковые сплавы.

Буквы, применяемые при обозначении легирующих элементов в цветных сплавах, имеют значение, отличающееся от значения, используемого при маркировке легированных сталей:

А – алюминий	Мц – марганец	Су – сурьма
Б – бериллий	Мш – мышьяк	Т – титан
Ж – железо	Н – никель	Т – теллур (в антифрикционных сплавах)

К – кремний	Н – неодим (в сплавах магния)	Ф – фосфор
К – кальций (в баббитах)	О – олово	Х – хром
К – кадмий (в припоях)	С – свинец	Ц – цинк
Кд – кадмий	СС – свинец и серебро (в бронзах)	Ц – цирконий (в сплавах алюминия)
М – медь	Ср – серебро	Цр – цирконий
Мг – магний		

Числа обозначают процентное содержание соответствующих легирующих элементов или порядковый номер сплава (при маркировке *магниевых, титановых* и *деформируемых алюминиевых,* сплавов). Особенности в обозначении имеют деформируемые латуни, припои и антифрикционные сплавы (баббиты).

Правила маркировки *литейных* цветных сплавов аналогичны правилам маркировки легированных сталей. При маркировке *деформируемых* (прокаткой, прессованием, штамповкой) цветных сплавов вначале пишут все буквы, а затем – числа.

Буквы в конце марки цветных сплавов означают: он – общего назначения, ч – чистый, пч – повышенной чистоты, оч – особой чистоты, л – литейный сплав, с – селективный, р – рафинированные сплавы в чушках.

Алюминий и алюминиевые сплавы широко применяют в авиации и ракетной технике, в транспортном машиностроении, в электротехнике, в химической и пищевой промышленности, в металлургии и строительстве, в порошковой металлургии для изготовления пористых деталей с высокой коррозионной стойкостью и прочностью из спеченных алюминиевых сплавов (САС) и спекаемых алюминиевых пудр (САП).

Алюминий (ГОСТ 4784-97 «Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки») выпускают следующих марок: АД000 (99,8 % Al), АД00 (99,7 % Al), АД0 (99,5 % Al), АД1 (99,3 % Al), АД (99,0 % Al). Технически чистый алюминий благодаря высокой пластичности (относительное удлинение около 40 %) и сравнительно невысоким механическим свойствам (предел прочности 90 – 180 МПа) хорошо деформируется в холодном состоянии, однако обработка его резанием затруднена.

Алюминиевые сплавы разделяют на ***деформируемые*** (ГОСТ 4784-97) и ***литейные*** (ГОСТ 1583-93 «Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия»). Сплавы обеих групп бывают упрочняе-

мые и не упрочняемые термической обработкой. Литейные алюминиевые сплавы обозначают по правилам маркировки цветных металлов. Деформируемые алюминиевые сплавы маркируют буквами и порядковым номером, только в большинстве сплавов систем Al-Mg и Al-Mn число указывает содержание легирующих элементов в процентах, например, АМг5, АМг3, АМц.

Для получения деформируемых алюминиевых сплавов используют различные системы легирования – Al-Mn (сплавы АМц), Al-Mg (сплавы АМг), дуралюмины и др. В ряде случаев система их маркировки сложилась стихийно по подобию медных сплавов, с учетом особенностей производства или области применения сплава. В настоящее время происходит замена различных систем условных обозначений алюминиевых деформируемых сплавов на единую систему цифровой маркировки.

Маркировки сплавов, в т. ч. цифровые, определены в ГОСТ 4784-74 «Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки». Первая цифра обозначает основу сплава, алюминиевые сплавы маркируют «1», вторая цифра – система сплава:

Маркировка	Основная система сплава
10XX	спеченные Al сплавы
11XX	Al-Cu-Mg
12XX	Al-Cu
13XX	Al-Mg-Si
14XX	Al-Mn, Al-Li, Al-Cr, Al-Zr
15XX	Al-Mg
19XX	Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu

(6,7,8 – резервные)

Более распространенными являются сплавы системы Al-Mg, которые обладают лучшим комплексом физико-механических свойств по сравнению со сплавами системы Al-Mn. Сплавы не упрочняют термической обработкой, и маркировка состоит из букв, указывающих тип сплава и числа, показывающего в процентах содержание основного элемента – магния от *АМг2* до *АМг7* (ГОСТ 4784-74). Цифровая маркировка сплавов АМц – *1400,* АМг – *15XX,* где *XX* – две цифры, которые показывают содержание магния в десятых долях процента *(1520* – в среднем 2 % Mg).

Дуралюмин – наиболее распространенный деформируемый алюминиевый сплав, сочетающий высокий уровень свойств с небольшой плотностью (*dur* – по-французски «твердый»).

Собственно дуралюмин обозначают как *Д1… Д16,* комплекс показателей свойств растет с увеличением номера сплава. По ГОСТ 4784 все эти сплавы маркируют от *1110* до *1160,* например, *Д1* – 1110, *АК4* (ковочный) – *1140* и т. д. С учетом состава, способа производства высокопрочные алюминиевые сплавы обозначают по-разному: *В95* (высокопрочный) – *1950, АВ* (авиаль) – *1340* и т.д.

При маркировке алюминиевых деформируемых сплавов после условного номера часто следует обозначение, характеризующее состояние поставки продукции (лента, круглый прокат, трубы, профили, отливки): М – мягкий (отожжённый), Н – нагартованный, ПН – полунагартованный, А – с нормальной плакировкой, Б – с технологической плакировкой, например: Д16Н, АМг2М, АМг6ПН.

Если литейный алюминиевый сплав термически упрочняется, в конце марки ставят обозначение термической обработки (ГОСТ 1583-93):

- Т1 – искусственное старение без предварительной закалки;
- Т2 – отжиг;
- Т4 – закалка;
- Т5 – закалка и кратковременное неполное искусственное старение;
- Т6 – закалка и полное искусственное старение;
- Т7 – закалка и стабилизирующий отпуск;
- Т8 – закалка и отпуск.

Символ «Т3» используется для других сплавов.

Сплавы *алюминиевые литейные* разделяют на сплавы с высокими литейными свойствами (силумины), с повышенными механическими свойствами и жаропрочные. Силумины, легированные кремнием (7-13 %), применяют для тонкостенного литья (например, сплавы АК12, АК7ч) и изготовления деталей сложной формы, работающие при умеренных нагрузках (АК9ч). Силумины имеют повышенную коррозионную стойкость и хорошо свариваются. Для повышения механических свойств силумины модифицируют металлическим натрием, фторидами натрия и калия.

Сплавы системы Al-Cu (АМ5, АМ4,5Кд) имеют наибольшую прочность, однако, их литейные свойства невысокие. Их применяют для литья простых деталей, работающих в условиях повышенных статических и ударных нагрузок. Высокую прочность имеют также сплавы систем Al-Mg (АМг7, АМг10) и Al-Cu-Si (АК6М2, АК8М3) и Al-Zn (АЦ4Мг, АК7Ц9).

Жаропрочные сплавы системы Al-Cu-Mg с добавками Ni, Si (АМ4, 5Мг1,5Н2, АК12М2МгН) применяют для изготовления головок цилиндров и поршней двигателей воздушного охлаждения.

Маркировка по принципу АЛ + цифры, обозначающие условный номер марки, например АЛ2, АЛ9, АЛ27, устарела, хотя еще часто встречается в технической документации.

Медь и медные сплавы обладают высокой пластичностью и коррозионной стойкостью, низким удельным электрическим сопротивлением. Техническую медь широко используют в электротехнической промышленности и в химическом машиностроении. Медь выпускается следующих марок: М0 (99,97 % Cu), М1 (99,9 % Cu), М2 (99,7 % Cu), М3 (99,5 % Cu), М4 (99 % Cu).

Для производства деталей машин используют ***латуни*** (сплавы меди с цинком и с добавками алюминия, кремния, никеля, железа, марганца) и ***бронзы*** (сплавы меди с оловом, свинцом, алюминием, кремнием, железом, сурьмой и фосфором). Латуни и бронзы разделяют на ***деформируемые*** и ***литейные***. Медные сплавы за исключением бериллиевой бронзы, некоторых алюминиевых бронз и «стареющей» латуни не упрочняются термообработкой. Низкий коэффициент трения и устойчивость к изнашиванию медных сплавов делает их незаменимыми для изготовления вкладышей подшипников, червячных колес и шестерен.

При обозначении *деформируемых латуней* (ГОСТ 15527-2004 «Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки») первое число (после буквы) указывает содержание основного компонента – меди. Остальные числа, отделяемые друг от друга через тире, указывают среднее содержание легирующих элементов. Эти числа расположены в том же порядке, что и буквы, указывающие присутствие в сплаве того или иного элемента, например: ЛС59, ЛС63-3, ЛЖМц59-1-1. Содержание цинка в наименовании марки латуни не указывается, а определяется по разности.

По химическому составу различают латуни простые и сложные, а по структуре – однофазные и двухфазные. Однофазные простые латуни Л96 (томпак), Л80 (полутомпак), Л68 имеют высокую пластичность и поставляются в прокате и поковках. Двухфазные простые латуни ЛС63-3, ЛС59-1 деформируются в горячем состоянии и используются в виде проката и отливок. Сложные латуни имеют высокую стойкость против коррозии (однофазные ЛА77-2, ЛО70-1 и двухфазные ЛМцА57-3-1, ЛА67-2,5) и повышенную прочность (однофазные

ЛАН59-3-2, ЛАЖ60-1-1 и двухфазные (литейные) ЛМцОЖ55-3-3-1, ЛМцОС58-2-2-2). Латуни используют для изготовления деталей, работающих при температуре 300 °С, втулок и сепараторов подшипников, деталей приборов и арматуры, работающей в морской воде.

При маркировке *литейных латуней* (ГОСТ 17711-93 «Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки») используется иной порядок маркировки. В начале маркировки ставятся буквы «ЛЦ», далее содержание основного компонента (цинка) в процентах, далее буквы, которые показывают легирующие элементы и их содержание в процентах, например: ЛЦ40Мц3Ж; ЛЦ14К3С3; ЛЦ25С2; ЛЦ23А6Ж3Мц2.

Согласно ГОСТ 17711-93, указанный выше сплав ЛС59 может быть обозначен как ЛЦ40С. Марке ЛАЖМц66-6-3-2 соответствует ЛЦ23А6Ж3Мц2. В конце маркировки может указываться способ литья, например «д» – литье под давлением, тогда марка будет обозначена как ЛЦ40Сд.

Эта система маркировки соответствует некоторым зарубежным стандартам и более удобна в использовании. Необходимо учитывать, что заводы-производители латуней и изделий из них используют маркировки как деформируемых, так и литейных латуней по ГОСТ 17711-93.

В марках *деформируемых бронз* (ГОСТ 5017-2006 «Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением. Марки» и ГОСТ 18175-78 «Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки») числа после букв, отделяемые друг от друга через тире, указывают среднее содержание легирующих элементов. Числа расположены в том же порядке, что и буквы, указывающие на легирование бронзы тем или иным элементом, например: БрМг0,3; БрАЖН10-4-4; БрОФ8,0-0,3.

Бронзы, обрабатываемые давлением, разделяют на *оловянные* (БрОЦ4-3, БрОФ6,5-0,15); *алюминиевые* (БрА5; БрАМц10-2; БрАЖМц10-3-1,5); *кремнистые* (БрКМц3-1, БрКН1-3); *бериллиевые* (БрБ2, БрБНТ1,9Мг) и прочие (БрМг0,3; БрСр0,1; БрХ1).

Бронзы превосходят латуни в прочности и коррозионной стойкости, имеют повышенные упругие свойства. Оловянные двухфазные бронзы имеют наиболее низкий коэффициент усадки по сравнению с другими металлами. Алюминиевые однофазные бронзы в группе медных сплавов имеют наибольшую пластичность (относительное удлинение до 60 %). Двухфазные алюминиевые бронзы применяют для изготовления шестерен, гребных винтов, корпусов насосов, токо-

ведущих пружин, деталей химической и пищевой промышленности. Кремнистые бронзы превосходят алюминиевые бронзы в прочности и стойкости в щелочных средах. Бериллиевые бронзы сочетают высокую прочность (предел прочности до 1460 МПа) и коррозионную стойкость с повышенной электропроводностью. Их применяют для пружин, мембран и контактов в электрических аппаратах.

Структура маркировки *литейных бронз* (ГОСТ 613-79 «Бронзы оловянные литейные. Марки», ГОСТ 614-97 «Бронзы литейные в чушках. Технические условия» и ГОСТ 493-79 «Бронзы безоловянные литейные. Марки»), например, БрО8Ц4, БрО3Ц12С5, БрА10Ж3Мц2, БрСу3Н3Ц3С20Ф подобна структуре маркировки литейных латуней.

При обозначении безоловянных литейных бронз в конце некоторых марок ставят букву Л (литейная) например: БрА9Мц2Л, БрА10Ж4Н4Л. Бронза для художественного литья обозначается в конце марки буквой «х», например: БрО6Ц6С2х.

Магниевые сплавы делят на ***деформируемые*** (ГОСТ 14957-76 «Сплавы магниевые деформируемые. Марки») и ***литейные*** (ГОСТ 2856-79 «Сплавы магниевые литейные. Марки»), упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. Область их применения из-за пониженной коррозионной стойкости ограничивается только теми случаями, когда необходимо существенное снижение массы конструкции. Например, из деформируемых магниевых сплавов изготовляют детали, подвергающиеся высоким центробежным нагрузкам при температуре 150–200 °С. Для магниевых сплавов характерен высокий уровень демпфирования.

Магниевые деформируемые сплавы, легированные марганцем (до 2,5 %) (марки МА1, МА8), характеризуются хорошей свариваемостью и коррозионной стойкостью. Они используются для изготовления деталей, работающих при температуре до 200 °С. Повышение прочности достигается при увеличении содержания алюминия. Например, в сплаве МА2-1 содержится до 5 % Al, в сплаве МА5 до 9 % Al. Прочность магниевых сплавов повышается при легировании цинком (до 6 %), цирконием (до 1 %) и редкоземельными элементами (до 1,1 %) (МА14, МА15).

Магниевые литейные сплавы систем Mg-Al-Zn и Mg-Zn (МЛ3, МЛ6) обладают хорошими литейными и механическими свойствами. Для измельчения зерна сплавы системы Mg-Al-Zn подвергают модифицированию с использованием мрамора, графита, карбидов Al и Ca.

Сплавы систем Mg-Zr (МЛ 10, МЛ 12) и Mg-Th-Zr (МЛ 15, МЛ 19) применяют для изготовления деталей, работающих при температуре до 250–350 °С.

Титан и титановые сплавы (ГОСТ 19807-91 «Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки») имеют высокую хладостойкость, удельную прочность и коррозионную стойкость, которая выше, чем у нержавеющих и никелевых сплавов, в морской воде и в таких агрессивных средах, как влажный хлор, горячая азотная кислота высокой концентрации.

Технический титан представлен марками ВТ1-00 (99,7 % Ti) и ВТ1-0 (99,3 % Ti). Для создания требуемого комплекса механических свойств титан легируют алюминием (до 7 %), хромом, марганцем, молибденом, ванадием и другими элементами. Однофазные титановые сплавы с α-структурой типа ВТ5 обладают хорошей пластичностью и высокой свариваемостью. Для снятия внутренних напряжений и восстановления пластичности материала шва применяют стабилизирующий отжиг при 700 - 800 °С. Двухфазные сплавы, например, ОТ4-1, ВТ6, ВТ14, ВТ22 упрочняются термообработкой (закалка в воду и старение). Предел прочности у сплавов ВТ14 и ВТ22 при температуре 20 °С выше 1000–1200 МПа. Литейные титановые сплавы, например, ВТ5Л, ВТ14Л применяют для изготовления отливок.

Никелевые сплавы, обладая высокой химической стойкостью, жаропрочностью и длительной прочностью, широко применяются в авиастроении, космической технике, электротехнике и химической промышленности. Сплавы с никелем используются в быту и в ювелирном деле.

При маркировке *никелевых и медно-никелевых* сплавов (ГОСТ 492-2006 «Никель, сплавы никелевые и медно-никелевые, обрабатываемые давлением. Марки») цифры после букв Н или МН, отделяемые друг от друга через тире, указывают среднее содержание всех компонентов сплава в процентах, например: НМЖМц28-2,5-1,5; МНЦ15-20. Особенности маркировки специальных сплавов на основе никеля, например, жаропрочных, рассматривались выше.

Отличительной особенностью никелевых и медно-никелевых сплавов является то, что многие из них имеют названия: НХ9,5 – хромель Т, НХМ9,5 – хромель ТМ, НМЖМц28-2,5-1,5 – монель, МН19 – мельхиор, МНМц43-0,5 – копель, МНМц40-1,5 – константан, МНА13-3 и МНА6-1,5 – куниаль А и Б, МНМц3-12 и МНМцАЖ3-12-

0,3-0,3 – манганин, МНЦС16-29-1,8 – свинцовистый нейзильбер, МНЦ15-20 – нейзильбер.

Цинковые сплавы с высокими литейными свойствами и низкой температурой плавления применяют для изготовления сложных тонкостенных деталей, для точного и художественного литья. Цинк широко используется в электротехнике, в производстве цветных металлов, надежно защищает сталь от коррозии.

Сплавы цинковые деформируемые (ГОСТ 25140 93 «Сплавы цинковые литейные. Марки») например, ЦАМ4 1 и литейные (ГОСТ 19424 97 «Сплавы цинковые литейные в чушках. Технические условия»), например, ЦА4М3 обозначают по правилам маркировки цветных металлов.

Олово и оловянные сплавы (припои) применяются в электротехнике, приборостроении, машиностроении, пищевой промышленности. *Олово* (ГОСТ 860-75 «Олово. Технические условия») представлено марками: ОВЧ-000 (99,9995 % Sn) – олово высокой чистоты для полупроводниковой техники; О1 пч – олово повышенной чистоты для лужения консервной жести; О1 (99,9 % Sn), О2; О3; О4 – техническое олово.

При маркировке припоев первые три буквы указывается вид припоя (оловянно-свинцовый – ПОС, медно-цинковый – ПМЦ), а первое число после букв указывает содержание первого компонента (олова или меди). Следующие числа указывают процентное содержание легирующих добавок. Второй компонент определяют по разности. Структура маркировки припоев на серебряной основе аналогична структуре маркировки цветных металлов.

Припои по температуре плавления $T_{пл}$ разделяют на особолегкоплавкие ($T_{пл}$ < 145 °С), легкоплавкие (145–450 °С), среднеплавкие (450–1050 °С) и тугоплавкие ($T_{пл}$ > 1050 °С). К особолегкоплавким и легкоплавким припоям относят *оловянно-свинцовые* припои (ГОСТ 21930-76 «Припои оловянно-свинцовые в чушках. Технические условия») с добавками висмута, кадмия, цинка, сурьмы, например, ПОС-Су 50-0,5. К среднеплавким и тугоплавким припоям относят *медные, медно-никелевые, медно-цинковые* припои (ГОСТ 23137-78 «Припои медно-цинковые. Марки»), например, ПМЦ48 и *на серебряной основе* (ГОСТ 19738-74 «Припои серебряные. Марки»), например, ПСрМЦКд45-15-16-24. Припои изготовляют в виде проволоки, прутков, листов, полос, колец, дисков и т. д.

Антифрикционные (подшипниковые) материалы (баббиты и сплавы на основе цинка и алюминия) применяют для изготовления вкладышей подшипников скольжения дизелей, турбин, двигателей, прокатных станов и металлообрабатывающих станков, автомобильного и железнодорожного транспорта.

Основные типы ***баббитов***: оловянные Б88, Б83, Б83С и свинцовые Б16, БН, БС6 (ГОСТ 1320 74 «Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия»); кальциевые БКА, БК2, БК2Ш, БК2Ц (ГОСТ 1209-90 «Баббиты кальциевые в чушках. Технические условия»). Оловянные баббиты применяют для особо ответственных изделий из-за хорошей прирабатываемости к валу и износостойкости. У баббитов на свинцовистой основе нет равномерного распределения твердых частиц сурьмы и их износостойкость ниже. Для предупреждения ликвации при литье из за различия в плотности основных компонентов (олова, свинца и более легкой сурьмы) в эти баббиты вводят медь (2…7 %). Никель (0,5 1,1 %), вводимый в баббит марки БН улучшает форму включений и измельчает структуру. Кальциевые баббиты на свинцовистой основе без олова имеют добавки кальция, алюминия, натрия, цинка.

Обозначение баббитов носит условный характер, не показывая полностью состав сплава. В оловянных и свинцовых баббитах, например, Б88, Б16 следующие за буквой «Б» числа показывают только содержание олова в процентах. В маркировке кальциевых баббитов БКА, БК2Ц следующие за буквой «Б» буквы означают элементы, а числа – их содержание в процентах.

В обозначении антифрикционных сплавов на основе ***цинка*** (ГОСТ 21437-95 «Сплавы цинковые антифрикционные. Марки, технические требования и методы испытаний»), например, ЦАМ10-5 и на основе алюминия (ГОСТ 14113-78 «Сплавы алюминиевые антифрикционные. Марки»), например, АН2,5; АСМ первая буква указывает на основу сплава: цинк или алюминий. Следующие буквы обозначают элементы, а цифры – их среднее количество в процентах. Литейные антифрикционные сплавы на основе цинка в конце марки обозначаются буквой Л, например: ЦАМ9-1,5Л; ЦАМ10-5Л.

В марках сплавов на основе ***алюминия***, например, АО9-2 и АО20-1 идущие после букв через тире цифры обозначают среднее количество олова в процентах и среднее содержание меди. В марках сплавов без олова АСМ, АМСТ и АМК буквой С обозначают сурьму, М – магний (в АСМ) или медь (в АМСТ и АМК), Т – теллур.

Практическая часть

Согласно вариантам задания (таблица 5.1) расшифровать марки указанных сплавов, указать область применения.

Таблица 1.1 – Варианты заданий

№ варианта	Марки цветных сплавов
1	Д1; БрБ2; АЛ2
2	Д16; БрБ2,5; АЛ4
3	Д18; БрОФ6,5-0,4; АЛ9
4	Л64; АМг6; А999
5	Л96; АМг5; МЛ10
6	ЛАН59-3-2; А995; Д16
7	ЛЦ40С; БрАЖН10-4-4; Д1
8	БрКМц3-1; АЛ7; МА15
9	МН19; Д1; Л63
10	МНМц43-0,5; Д16; Л96
11	МНМц40-1,5; Д18; АЛ2
12	Л90; АК6М2; БрБ2
13	Б95; А85; МЛ5
14	МЛ6; БрБ2,5; Д1
15	МА1; ЛАН59-3-2; АМг5
16	Л80; Б83; ЛЦ16К4
17	Б88; БрС30; ЛО701
18	Д16; В96; ЛС59-1
19	Д18; БрБ2; ЛЦ10
20	Д1; БрБ2,5; БрО10Ф1

Контрольные вопросы

1. Классификация и маркировка алюминиевых сплавов.
2. Классификация и маркировка медных сплавов.
3. Классификация и маркировка припоев.
4. Классификация и маркировка антифрикционных сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров О.С. Материаловедение в машиностроении [Электронный ресурс] : учебник / О.С. Комаров, Л.Ф. Керженцева, Г.Г. Макаева. – Электрон. текстовые данные. – Минск: Вышэйшая школа, 2009. – 304 с. – 978-985-06-1608-1. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/20088.html

2. Лахтин, Ю.М. Материаловедение [Текст]: учебник / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1993. – 529 с.

3. Ильина, Л.В. Теория и технология термической обработки металлов: справочное пособие / Л.В. Ильина, Л.Н. Курдюмова. – Орел: ОрелГТУ, 2007. – 49 с. – Режим доступа: http://elib.oreluniver.ru/spravochniki-i-enciklopedii/teoriya-i-tekhnologiya-termicheskoj-obra.html

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО – УГЛЕРОД

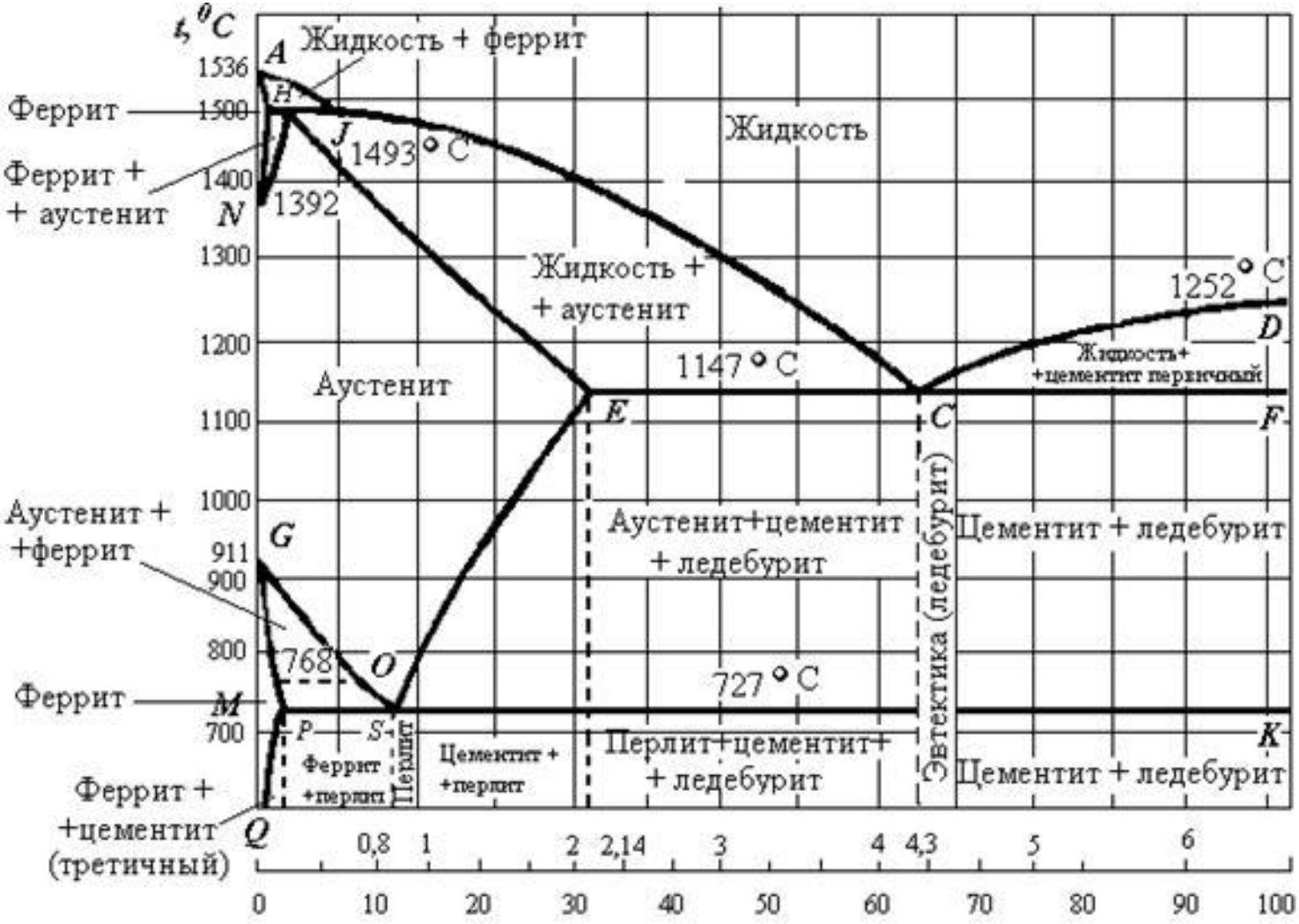


Рисунок А.1

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Химический состав и критические точки некоторых марок сталей

Марка стали	Химический состав, основные компоненты, %				Критические точки, °С	
	C	Cr	Ni	Si	A_{c1}	A_{c3}
Сталь 30	0,3				730	810
Сталь 40	0,4				730	790
Сталь 45	0,45				725	770
Сталь 50	0,50				725	760
У7	0,7				730	740
У8	0,8				725	-
У10	1,0				730	840[1]
У12	1,2				730	860[1]
40Х	0,4	1			740	770
40ХН	0,4	1	1		730	770
60С2	0,6			2	750	820
9ХС	0,9	1		1	770	870[1]

[1] – сталь заэвтектоидная; дано значение критической точки A_{cm}