

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии металлов»

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

*Методические рекомендации к самостоятельной работе
для студентов специальностей 6-05-0714-02 «Технология
машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»,
6-05-0715-07 «Эксплуатация наземных транспортных
и технологических машин и комплексов»
и 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование
и производство материалов и изделий из них»
заочной формы обучения*



Могилев 2026

УДК 669.01
ББК 30.3
М34

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технологии металлов» «26» января 2026 г.,
протокол № 11

Составитель канд. техн. наук, доц. А. И. Хабибуллин

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Изложены цель и задачи, учебная литература по изучению тем курса «Материаловедение». Приведены перечень типовых вопросов к экзамену по курсу «Материаловедение», пример выполнения аудиторной контрольной работы, контрольные задания, требования и рекомендации по выполнению и оформлению аудиторной контрольной работы.

Учебное издание

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Ответственный за выпуск	Д. И. Якубович
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2026

Содержание

Введение.....	4
1 Перечень основных разделов курса «Материаловедение».....	5
2 Методические рекомендации к выполнению и оформлению контрольной работы.....	8
3 Назначение сталей для изготовления деталей машин и инструментов и их термическая обработка	8
4 Задания к контрольной работе.....	18
Список литературы.....	18
Приложение А. Перечень типовых вопросов к экзамену по курсу «Материаловедение».....	19
Приложение Б. Пример выполнения контрольной работы.....	23
Приложение В. Марки стали	25

Введение

Материаловедение – одна из фундаментальных дисциплин, изучение которой является необходимым для будущих специалистов в области машиностроения, энергетики и приборостроения. Решение технических проблем, связанных с экономией материалов, снижением массы машин и аппаратов, повышением точности, надежности и долговечности, во многом зависит от развития материаловедения. Знание этих вопросов необходимо для освоения многих дисциплин на старших курсах и в практической деятельности будущих специалистов.

Материаловедение ставит своей задачей усвоение студентами машиностроительных специальностей фундаментальных знаний по вопросам выбора наиболее подходящих материалов для изготовления различных деталей машин, назначения режимов термической или другой обработки, а также создания новых материалов и технологий для различных отраслей промышленности.

Студент, изучивший дисциплину, познает:

- строение и свойства металлов и сплавов, процессы кристаллизации, методы построения и анализа диаграмм состояния сплавов;
- железоуглеродистые сплавы и основы их создания;
- теорию и технологию термической и других видов обработки стали;
- классификацию и маркировку конструкционных материалов;
- основы создания легированных сталей;
- цветные металлы и сплавы (титановые, алюминиевые, медные и др.);
- композиционные материалы, аморфные металлы и т. д.;
- основные неметаллические материалы.

Студент, изучивший дисциплину, научится:

- оценивать структуру материалов и влияние ее на физико-механические и технологические свойства;
- выбирать наиболее подходящий материал для изготовления различных деталей машин и инструментов;
- обоснованно назначать режим термической или другой обработки изделий с учетом условий их работы;
- оценивать поведение деталей в процессе их работы и возможности корректировки выбора материала.

1 Перечень основных разделов курса «Материаловедение»

1.1 Введение.

Задача и значение курса «Материаловедение». Роль металлов в современной технике. Роль русских и советских ученых в создании науки о металлах и методах их упрочнения. Современное материаловедение и его значение в народном хозяйстве, ускорении научно-технического прогресса. Прогрессивные тенденции создания рационального выбора новых и существующих материалов, оценка перспектив их применения на основе экономического анализа. Металлические и неметаллические материалы.

Литература: [1, 2].

1.2 Строение металлов.

1.2.1 Металлические материалы. Металлический тип связи, металлическое состояние. Атомно-кристаллическое строение металлов, типы кристаллических решеток, анизотропия металлов.

1.2.2 Строение реальных кристаллов. Дефекты кристаллического строения: точечные, линейные, поверхностные, объемные. Влияние дефектов на физико-механические свойства.

Литература: [1–3].

1.3 Формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации. Диаграммы состояния.

1.3.1 Термодинамические основы и кинетика кристаллизации металлов. Самопроизвольное (спонтанное) и гетерогенное образование зародышей.

1.3.2 Модифицирование. Формирование структуры при кристаллизации. Строение металлического слитка.

1.3.3 Полиморфные превращения в металлах. Тип фаз, образующихся в металлических сплавах, их характеристики.

1.3.4 Диаграммы состояния двойных сплавов. Методы построения диаграмм состояния экспериментальным путем. Анализ типовых двойных диаграмм состояния. Фазовые превращения в неравновесных условиях. Связь между структурой и свойствами.

Литература: [1–3].

1.4 Пластическая деформация.

Упругая и пластическая деформация. Явления, протекающие в процессе пластической деформации. Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла. Рекристаллизационные процессы. Горячая и холодная пластическая деформация. Основные механические свойства металлов.

Литература: [1–3].

1.5 Железо и его сплавы.

1.5.1 Метастабильная диаграмма состояния «железо - цементит». Компоненты, фазы и структурные составляющие сталей и чугунов, их характеристика, условия образования и свойства.

1.5.2 Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали. Дефекты стали. Классификация и маркировка углеродистых сталей. Стабильная диаграмма состояния «железо - графит».

1.5.3 Свойства и назначение чугунов. Белый и отбеленный чугун. Влияние углерода, кремния и скорости охлаждения на структуру серого чугуна. Влияние постоянных примесей на свойства чугуна. Серый чугун. Модифицированный серый чугун. Ковкий чугун. Высокопрочный чугун.

Литература: [1–3].

1.6 Теория термической обработки стали.

1.6.1 Основы теории термической обработки сплавов. Классификация видов термической обработки. Связь видов термической обработки с диаграммами состояния. Критические точки в сталях.

1.6.2 Превращения при нагреве феррито – карбидной структуры в аустенит. Рост зерна аустенита. Влияние размера зерна на механические и технологические свойства стали. Превращение переохлажденного аустенита. Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита. Перлитное превращение, продукты перлитного аустенита и их свойства. Мартенситное превращение и его особенности. Строение и свойства мартенсита.

1.6.3 Промежуточное превращение. Строение и свойства продуктов промежуточного превращения аустенита. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении. Критическая скорость закалки и факторы, влияющие на нее. Термокинетические диаграммы превращения переохлажденного аустенита.

Литература: [1–3].

1.7 Технология термической обработки стали.

1.7.1 Защитные атмосферы и охлаждающие среды. Напряжения, возникающие при термической обработке. Отжиги первого и второго рода. Назначение отжига. Изотермический отжиг. Сфероидизация. Нормализация стали. Закалка. Выбор температуры закалки. Закалочные среды и требования, предъявляемые к ним. Закалочные напряжения. Методы закалки. Закаливаемость и прокаливаемость стали.

1.7.2 Отпуск стали. Виды и назначения отпуска. Влияние видов термической обработки на механические свойства стали. Термомеханическая обработка стали. Химико-термическая обработка стали. Физические основы химико-термической обработки. Назначение и виды цементации. Механизмы образования и строение цементованного слоя. Нитроцементация. Термическая обработка после цементации и нитроцементации и свойства цементованных деталей. Азотирование стали. Механизм образования и строение азотированного слоя. Стали для азотирования. Борирование и диффузионная металлизация.

Литература: [1–3].

1.8 Легирующие элементы в стали.

1.8.1 Понятие легирующий элемент и легированная сталь. Фазы в легированных сталях.

1.8.2 Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа и стали, на основные превращения и технологию термической и химико-термической обработки. Классификация и маркировка легированных сталей.

Литература: [1–3].

1.9 Конструкционные материалы.

1.9.1 Конструкционная прочность материалов. Конструкционная прочность материалов и критерии ее оценки. Методы повышения конструкционной прочности.

1.9.2 Классификация конструкционных материалов. Конструкционные стали общего назначения. Цементируемые и улучшаемые стали. Рессорно-пружинистые, строительные и арматурные стали. Состав, типовая термическая обработка, свойства этих сталей.

1.9.3 Жаропрочные стали и сплавы. Характеристики жаропрочности, методы ее повышения. Области применения. Жаропрочные стали перлитного, аустенитного классов. Жаропрочные сплавы на никелевой, кобальтовой и молибденовой основе.

1.9.4 Материалы, устойчивые к воздействию рабочей среды. Коррозионностойкие, жаростойкие стали и сплавы. Износостойкие стали.

Литература: [1, 2].

1.10 Инструментальные материалы.

1.10.1 Требования, предъявляемые к инструментальным материалам. Классификация материалов.

1.10.2 Материалы для режущего инструмента. Стали для измерительного инструмента, для обработки металлов давлением.

1.10.3 Твердые сплавы.

Литература: [1, 2].

1.11 Стали и сплавы с особыми свойствами (магнитные, высокого электросопротивления и др.).

Литература: [1, 2].

1.12 Цветные металлы и сплавы.

1.12.1 Алюминий и магний, и их сплавы. Классификация, состав, термическая обработка, свойства, маркировка и область применения.

1.12.2 Медь и ее сплавы, антифрикционные сплавы: классификация, состав, свойства, маркировка, область применения.

Литература: [1, 2].

1.13 Неметаллические материалы.

Общие сведения о неметаллических материалах. Пластические массы (состав, получение, структура, свойства и область применения). Волокнистые композиционные материалы. Композиционные материалы на основе алюминия, магния, титана и их сплавов. Композиционные материалы, армированные частицами. Порошковые материалы, их свойства, преимущества и недостатки, способы получения. Области применения в машиностроении.

Литература: [1, 2].

2 Методические рекомендации к выполнению и оформлению контрольной работы

Студенты, обучающиеся заочно, выполняют одну аудиторную контрольную работу. Задания приведены в четвертом разделе настоящих методических указаний.

Задание заключается в выборе областей применения двух заданных сталей, назначении оптимальных режимов их термообработки, описании превращений, происходящих при их закалке и отпуске, образующихся при этом структур и свойств изделий, изготавливаемых из предложенных сталей.

При выполнении контрольной работы студенты осваивают методику выбора и назначения сталей и сплавов для изготовления деталей машин и различного вида инструментов. Одновременно студент должен научиться пользоваться рекомендуемыми справочными материалами, чтобы в дальнейшем правильно выбирать стали и сплавы при курсовом и дипломном проектировании.

Аудиторная контрольная работа выполняется на бланке, выдаваемом деканатом заочного факультета. Ответы должны быть краткими, аргументированными и точными. В конце работы указывается дата ее выполнения и ставится подпись.

После рецензирования работы, при необходимости, выполняется работа над ошибками.

3 Назначение сталей для изготовления деталей машин и инструментов и их термическая обработка

Маркировка сталей буквенно-цифровая. Все легирующие элементы имеют буквенное обозначение: А – азот, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, Е – селен, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, П – фосфор, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий, Ч – РЗМ. Цифры в начале марки – среднее содержание углерода (для конструкционных сталей – в сотых долях процента, а для инструментальных – в десятых долях процента).

Цифры после букв показывают примерное содержание легирующих

элементов в целых процентах, отсутствие цифр указывает, что их содержание около 1,0 %. Буква «А» в конце марки показывает, что стали высококачественные ($< 0,025$ % фосфора и $< 0,025$ % серы). Например, сталь 12Х2Н4А – конструкционная высококачественная сталь, содержащая: С – 0,12 %, Cr – 2 %, Ni – 4 %. Сталь 3Х2В8 – инструментальная сталь, содержащая: С – 0,3 %, Cr – 2 %, W – 8 %.

Конструкционные стали. Конструкционные стали делятся на различные группы, которые отличаются друг от друга разным содержанием углерода и режимами термической обработки.

Низкоуглеродистые стали, содержащие углерода до 0,25 %, обладают невысокой прочностью и высокой пластичностью и применяются для изготовления изделий листовой холодной штамповкой (05кп...10...), а также для деталей, упрочняемых цементацией (сталь 20Х, 18ХГТ...), и для различных сварных соединений (сталь 17ГС, сталь 10ХСНД...). Кроме того, из последних сталей изготавливают болты, шпильки, гайки, валики неответственного назначения и т. п.

Цементируемые стали (15Х, 20Х, 15ХР, 20ХГР, 18ХГТ) подвергаются цементации и последующей термической обработке, заключающейся в закалке и низком отпуске. После такой обработки твердость поверхностной зоны составляет около 60 HRC, а сердцевины – примерно 15...30 HRC. Упрочнение сердцевины тем больше, чем выше содержание углерода и легирующих элементов. В соответствии с этим цементируемые стали делят на три группы: *углеродистые стали с не упрочняемой сердцевиной, низколегированные со слабо упрочняемой сердцевиной и сердцевиной сильно упрочняемой при термической обработке.*

В нелегированных низкоуглеродистых сталях (10, 15, 20) *С-образная* кривая сдвинута настолько влево, что даже при интенсивном охлаждении после закалки в сердцевине образуется ферритно-цементитная смесь. Эта сталь практически не упрочняется термической обработкой.

В низкоуглеродистых слабо легированных сталях после закалки в масле структура претерпевает бейнитное превращение и заметно упрочняется (15Х, 20Х, 15ХР, 20ХН).

В высоколегированных цементируемых сталях охлаждение в масле и даже на воздухе достаточно для получения структуры нижнего бейнита или мартенсита, что приводит к интенсивному упрочнению (20ХГР, 20ХНР, 18 ХГТ, 30ХГТ, 12ХНВ, 12Х2Н4, 18Х2Н4ВА).

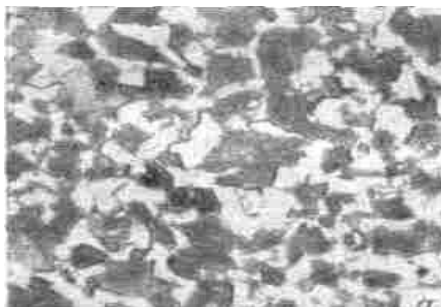
Выбор марки стали для цементируемых изделий основан на следующих соображениях. *Для изделий простой конфигурации, не испытывающих значительных напряжений, следует применять простые углеродистые стали; для деталей, испытывающих большие напряжения и удары, – хромоникелевые высокопрочные стали.*

Среднеуглеродистые стали (с содержанием углерода 0,3 %...0,5 %) назначаются для ответственных деталей высокой прочности и удовлетворительной ударной вязкости (зубчатые колеса, шатуны, коленчатые валы, распределительные валы, винты, оси, втулки, рычаги и др.). Как правило, изделия из этих

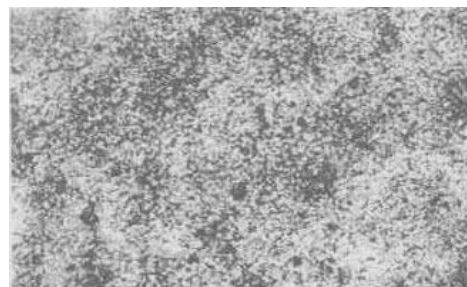
сталей подвергаются улучшению (закалка и высокий отпуск). Наиболее распространенными являются стали 40Х, 40ХР, 30ХМ, 40ХГ, 40ХНМ, 40ХН. Механические свойства всех улучшаемых сталей после термообработки в случае сквозной прокаливаемости близки. Поэтому выбор стали для различных деталей определяется прокаливаемостью, которая определяется в основном содержанием легирующих элементов.

После полной закалки сталь имеет структуру мартенсита. Последующий высокий отпуск обеспечивает получение структуры сорбита отпуска (рисунок 1).

а)



б)



а – отожженное состояние (феррит и перлит); б – улучшенное (сорбит отпуска)

Рисунок 1 – Микроструктура стали 40 ХНМ

Улучшаемые стали по прокаливаемости условно разбиты на пять групп:

- 1) простые углеродистые 40, 45. Применяют для изготовления деталей в нормализованном или улучшенном состоянии. Улучшение проводится для деталей диаметром 10...15 мм;
- 2) для деталей небольших сечений ≈ 20 мм, от которых требуются достаточно высокие механические свойства. Применяются стали типа 40Х, 40ХР;
- 3) введение дополнительно Mn, Si, Mo, Ti позволяет увеличить прокаливаемость до 20...40 мм (30ХМ, 40ХГ, 40ХГР, 30ХГТ, 30ХГС);
- 4) стали, содержащие до 1,5 % Ni. Эти стали прокаливаются в сечении до 40...70 мм (40ХН, 40ХНР, 40ХНМ);
- 5) при сечении более 70 мм применяют стали с 3 % Ni (30 ХНЗ, 30ХНЗВФ).

Необходимо помнить, что легирование всеми элементами (за исключением Ni) снижает запас вязкости, а следовательно, и надежности детали. Поэтому необходимо применять стали, минимум легированности которых определяется условием прокаливаемости данной детали.

Высокоуглеродистые стали 55–85 обычно применяются для пружин, рессор. Детали из этих сталей подвергаются закалке и среднему отпуску (для обеспечения образования структуры троостита отпуска, обладающего высокой упругостью).

Типовая термообработка, получаемые структуры и свойства наиболее распространенных конструкционных сталей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Типовая термообработка конструкционных сталей

Содержание углерода, %	Марка стали	Назначение изделий	Характерные свойства изделий	Вид закалки	Структура после закалки	Вид отпуска	Структура после отпуска
<i>Конструкционные</i>							
До 0,3 низкоуглеродистые	08кп	Для холодной штамповки	Высокая пластичность				
	ВСт.3, 09Г2, 17ГС, 10ХСНД	Для сварных конструкций	Хорошая свариваемость				
	18ХГТ, 20Х, 20ХГР	Цементируемые изделия (пальцы, шестерни, оси)	Износостойкая поверхность, вязкая сердцевина	Неполная	$M + \zeta_{II} + A_{ост}$	Низкий	$M_{омн} + \zeta_{II}$
0,3...0,5 среднеуглеродистые	30Х, 35ХМ, 40Х, 40ХН, 40ХФА, 50Х, 50ХН,	Ответственные детали при высоких нагрузках (шатуны, коленвалы, цапфы)	Надежность от хрупкого разрушения	Полная	M	Высокий	$C_{омн}$
0,5...0,8 высокоуглеродистые	50С2, 50ХГФА, 60СГА, 65Г, 70С3А	Пружины, рессоры	Высокая упругость	Полная	$M + A_{ост}$	Средний	$T_{омн}$

Инструментальные стали. Для изготовления различных инструментов применяется углеродистая и легированная инструментальная сталь, содержащая углерода от 0,3 % до 1,3 %. Углеродистая сталь производится следующих марок: У7–У13 (качественная) или У7А–У13А (высококачественная). Здесь «У» означает «углеродистая инструментальная сталь», число после «У» – содержание углерода в десятых долях процента (например, У12 содержит углерода 1,2 %).

Инструментальные стали классифицируют по четырем признакам: по равновесной структуре, получаемой после отжига; по структуре после охлаждения на воздухе; по назначению; по составу.

По равновесной структуре стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные, ледебуритные, ферритные и аустенитные. Большинство легирующих элементов сдвигают точки S и E на диаграмме состояния «железо – цементит» влево (в сторону меньшего содержания углерода), поэтому границы между вышеуказанными сталями находятся при меньшем содержании углерода по сравнению с углеродистыми сталями. Инструментальные стали по структуре после отжига, как правило, относятся к перлитному или ледебуритному классу.

По структуре после охлаждения на воздухе различают три основных

класса сталей: перлитный, мартенситный, аустенитный. Стали перлитного класса характеризуются относительно малым содержанием легирующих элементов, мартенситного – более значительным, аустенитного – высоким содержанием легирующих элементов. Получение указанных классов стали обусловлено тем, что по мере увеличения содержания легирующих элементов устойчивость аустенита в перлитной области возрастает, а температурная область мартенситного превращения снижается.

По назначению инструментальные стали подразделяют на стали для режущего, штампового, мерительного инструмента.

Одной из важных характеристик инструментальных сталей является *теплостойкость* (или *красностойкость*). *Теплостойкость* – это способность сталей сохранять свою исходную твердость, а следовательно, износостойкость при нагреве в процессе работы. Это свойство особенно важно для материалов, идущих на изготовление режущего инструмента, работающего при повышенных и высоких скоростях резания. С увеличением скорости резания, сечения стружки, твердости обрабатываемого материала количество выделяемого тепла возрастает, а следовательно, и повышается температура режущей кромки (температура достигает до 700 °С). Если под действием этой температуры сталь не размягчается, инструмент долгое время сохраняет износостойкость и высокие режущие свойства.

Инструментальные стали по теплостойкости делятся на три группы:

- 1) *не обладающие теплостойкостью* (углеродистые и легированные стали, содержащие до 3 %...4 % легирующих элементов);
- 2) *полу теплостойкие* (содержащие более 0,6 %...0,7 % С и 4 %...18 % Cr);
- 3) *теплостойкие* (высоколегированные стали, содержащие Cr, W, V, Mo, Co, получившие название быстрорежущие).

Другой важной характеристикой инструментальных сталей является прокаливаемость. Высоколегированные теплостойкие стали обладают высокой прокаливаемостью. Инструментальные стали, не обладающие теплостойкостью, делят на стали *небольшой прокаливаемости* (углеродистые) и *повышенной прокаливаемости* (легированные).

По назначению различают следующие группы инструментальных сталей: для режущего инструмента, для мерительного инструмента, для штампов холодного деформирования и для штампов горячего деформирования.

Стали, не обладающие теплостойкостью пониженной прокаливаемости. В эту группу входят углеродистые стали, а также стали с небольшим содержанием легирующих элементов, которые по своей прокаливаемости незначительно отличаются от углеродистых. Прокаливаемость таких сталей низка. Закалка их производится в воде. Это следует учитывать при выборе конструкции инструмента. Закалка в воде вызывает коробление и часто приводит к образованию трещин, особенно если инструмент имеет острые углы, резкие переходы сечений.

Полная прокаливаемость углеродистых сталей в воде достигается в сечении не более 10...12 мм. Необходимо отметить, что прокаливаемость сталей этой группы очень непостоянная. Отдельные плавки одной и той же марки

могут различаться по прокаливаемости в 5 и более раз.

У7 – доэвтектоидная сталь – закалка производится путем нагрева выше линии Ac_3 .

Сталь У8 – эвтектоидная.

В закаленном состоянии У7, У8, У9 имеют структуру мартенсита.

Температура закалки заэвтектоидных сталей У10–У13 лежит между линиями Ac_1 – Ac_3 . После закалки имеют структуру мартенсита и цементита вторичного. Твердость после закалки и низкого отпуска ($\sim 200^\circ C$) – 60...62 HRC.

Область применения. Стали марок У7 и У8 вязче других, т. к. не имеют в структуре цементита. Они идут на изготовление ударных инструментов – молотков, зубил, топоров, кернеров, стамесок, долот, штампов и т. д.

У9–У10 – для инструмента, не подвергающегося сильным ударам (сверла, метчики, развертки, мерительный инструмент, ножи для резки бумаги, кож).

У11–У13 – для инструментов с максимальной износостойкостью при наивысшей твердости, например, резцы, напильники, мерительный инструмент, хирургический инструмент и т. д.

К легированным сталям пониженной прокаливаемости относятся Х05, Х06, 65ХФ, 85ХФ. Небольшое содержание Cr в данных сталях устраняет склонность к графитизации, образованию мягких пятен. Эти стали применяются для тех же назначений, что и стали У9–У13. Стали, содержащие Cr и V, – мелкозернистые и вязкие, используются преимущественно для деревообрабатывающего инструмента.

Перед обработкой резанием стали подвергаются отжигу.

Стали, не обладающие теплостойкостью повышенной прокаливаемости. Эти стали содержат до 4 % легирующих элементов. Инструмент из таких сталей закаливается в масле и прокаливается, как правило, насквозь. Меньшая скорость охлаждения при закалке уменьшает опасность образования трещин, деформации и коробления. Легированные стали повышенной прокаливаемости можно разделить на три группы:

1) стали, содержащие $\approx 1,5\%$ Cr (Х) и дополнительно легированные кремнием (9ХС). Недостатком стали 9ХС является склонность к обезуглероживанию. Si и Cr повышают критические точки, поэтому кремнистые стали приходится нагревать под закалку до более высоких температур, при которых быстрее протекают процессы обезуглероживания.

Для получения заданной твердости стали, легированной Cr, а особенно Cr и Si, ее следует отпускать при более высоких температурах, чем углеродистой. Это значит, что разогрев режущей кромки инструмента в работе менее опасен для стали 9ХС, чем для стали Х или У10.

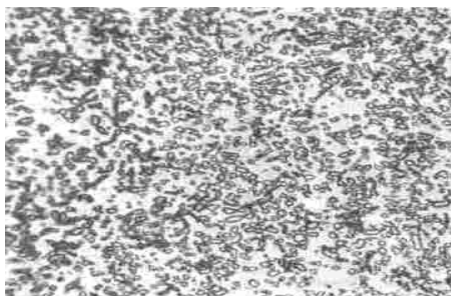
С целью улучшения обработки резанием заготовки из стали Х подвергаются неполному отжигу ($770^\circ C \dots 800^\circ C$) на зернистый перлит (рисунок 2, а), а затем, после механической обработки, неполной закалке в масле с последующим низким отпуском. После термообработки изделия имеют структуру мартенсита отпуска (рисунок 2, б) с включениями цементита. Твердость составляет 61...63 HRC. Стали Х и 9ХС применяются для режущего инструмента,

работающего в легких условиях (ручные сверла, развертки, плашки) и изготовления штампов для холодной штамповки;

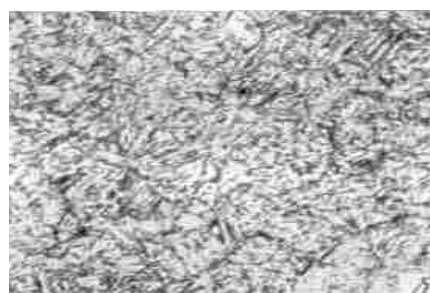
2) стали, имеющие повышенное содержание марганца (0,45 %...0,7 % – ХГ, ХВГ). Это приводит к уменьшению деформации. Стали данной группы деформируются в значительной степени меньше, чем углеродистые и стали первой группы. Применяются для изготовления инструмента, для которого не допускается деформация (длинные протяжки, мерительный инструмент);

3) высокотвердые стали В1, ХВ5, легированные вольфрамом. Сталь ХВ5 называется *алмазной*. Стали этой группы можно закаливать и в воде, и в масле. В процессе закалки твердость может достигать 70 HRC. Более высокие температуры закалки данных сталей, по сравнению с углеродистыми, являются результатом повышения критических точек при легировании Cr, W, Si, а также следствием более медленного растворения карбидов. Высокая твердость этих сталей используется при обработке очень твердых материалов, например, камней.

а)



б)



а – отжиг на зернистый перлит; б – неполная закалка и низкий отпуск

Рисунок 2 – Микроструктура стали Х

Быстрорежущие стали. Быстрорежущие стали, в отличие от других инструментальных сталей, обладают высокой теплостойкостью, т. е. способностью сохранять свою структуру (мартенсит), высокую твердость, прочность и износостойкость при повышенных температурах при нагреве до 600 °С...620 °С. Поэтому применение быстрорежущих сталей позволяет значительно повысить скорость резания (в 2–4 раза) и стойкость инструментов (в 10–30 раз) по сравнению со сталями, не обладающими теплостойкостью.

Основным легирующим элементом быстрорежущих сталей, обеспечивающим их теплостойкость, является W (или его химический аналог Mo). Теплостойкость улучшается в присутствии Cr, V, а также Co.

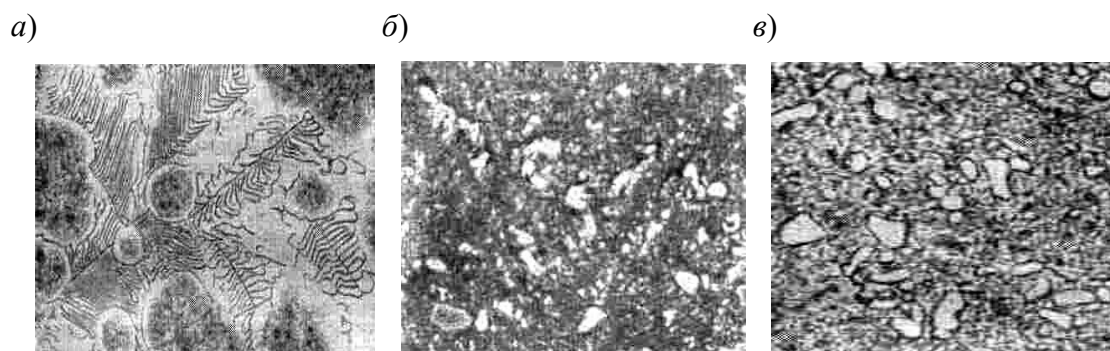
При кристаллизации сплава выделяются три вида карбидов – *первичные* (входящие в состав ледебурита), *вторичные* и *карбиды, входящие в состав эвтектоида*, образующегося в процессе распада аустенита на линии PSK. Карбиды в легированных сталях делятся на две группы. К первой группе относятся карбиды типов Me_3C , $Me_{23}C_7$, Me_7C_3 и Me_6C . Эти карбиды имеют сложную решетку и образуются такими элементами, как Fe, Mn, Cr. Типичный представитель данной группы – цементит.

Ко второй группе относятся карбиды типов MeC и Me_2C . Карбиды второй группы образуют такие элементы, как Mo, W, Nb, Zr, Ti. Они являются фазами внедрения с простой кристаллической решеткой.

Карбиды первой группы при нагреве легко растворяются в аустените, а второй – трудно. Вследствие этого при нагреве под закалку они остаются в решетке аустенита, искажают ее и тормозят рост зерна аустенита.

Классической быстрорежущей сталью считается сталь P18. Она содержит 0,7 % углерода, 18 % вольфрама, 4 % хрома, 1 % ванадия. Как и все быстрорежущие стали, относится к ледебуритному классу.

Наличие большого количества легирующих элементов (W, Cr) смещает все точки диаграммы «железо – углерод» далеко влево (точка S – 0,2 %...0,3 % углерода, точка E – 0,6 %). Таким образом, при содержании 0,7 % углерода в структуре быстрорежущих сталей появляется ледебурит. В процессе первичной и вторичной кристаллизации стали выделяются специальные карбиды W_6C . Первичные карбиды входят в состав эвтектики (ледебурита). Вторичные карбиды W_6C_{II} выделяются ниже линии SE вместо цементита углеродистых сталей вследствие снижения растворимости углерода в аустените при уменьшении температуры. При температуре соответствующей линии PSK аустенит испытывает эвтектоидное (перлитное) превращение, распадаясь на смесь феррита и карбидов W_6C . Структура стали P18 после различных видов обработки приведена на рисунке 3.



а – литое состояние (ледебуритная эвтектика); *б* – ковка и отжиг; *в* – закалка и трехкратный отпуск

Рисунок 3 – Микроструктура быстрорежущей стали P18

Типовая термическая обработка изделий из быстрорежущих сталей заключается в полной закалке и низком отпуске. Высокая температура закалки (1280 °C) необходима для растворения вторичных карбидов (W_6C_{II}) и получения высоколегированного, высокоуглеродистого аустенита, из которого при последующем охлаждении в масле образуется высоколегированный мартенсит, обладающий высокой теплостойкостью. Высокая теплостойкость объясняется тем, что атомы вольфрама, переходя при закалке из кристаллической решетки аустенита в решетку мартенсита, сильно искажают ее.

Возросшая энергия связи затрудняет диффузию углерода из кристалла мартенсита и тем самым препятствует распаду мартенсита до темпера-

тур 600 °С...620 °С (задерживает третье превращение при отпуске).

Первичные карбиды при нагреве под закалку практически не растворяются и препятствуют росту аустенитного зерна. После заковки сталь состоит из мелко игольчатого мартенсита, первичных карбидов (W_6C_1) и около 33 % аустенита остаточного. С целью разложения аустенита остаточного, снижающего режущие свойства инструмента, проводится трехкратный низкий отпуск при 560 °С...580 °С. Высокая температура низкого отпуска необходима для обеспечения протекания первого и второго превращений при отпуске в связи с затруднением диффузии углерода из искаженных вольфрамом кристаллов мартенсита и аустенита. После заковки и отпуска структура состоит из мелко игольчатого высоколегированного мартенсита отпуска и карбидов (W_6C_1).

Термическую обработку быстрорежущих сталей можно вести по двум режимам: закалка и трехкратный отпуск; закалка, обработка холодом и однократный отпуск. Второй режим дешевле и свойства лучше.

Штамповые стали. Для обработки металлов давлением используются штампы, пуансоны, ролики. Стали, применяемые для изготовления этих инструментов, называются штамповыми. Они делятся на две группы: для изготовления инструмента, деформирующего металл в холодном состоянии; для изготовления инструмента, деформирующего металл в горячем состоянии.

Стали для деформирования в холодном состоянии. От такого типа сталей требуются высокая твердость, обеспечивающая стойкость против истирания, и достаточная вязкость, особенно при изготовлении пуансонов.

Стали марок У7, У8, 6ХС, 7ХС вязче других, так как не имеют в структуре цементита. Они идут на изготовление инструментов, испытывающих большие ударные нагрузки – вырубных пуансонов, молотков, зубил, топоров, кернеров, стамесок, долот, штампов и т. д.

Инструмент для деформирования металла без значительных ударных нагрузок изготавливают из заэвтектоидной стали, он имеет твердость $\approx 58 \text{ HRC} \dots 62 \text{ HRC}$. Термическая обработка заключается в закалке и низком отпуске.

Для штампов небольших размеров простой конфигурации, работающих в сравнительно легких условиях, применяются стали У10, У11, У12 (прокаливаемость мала); для штампов сложной конфигурации и более тяжелых условий работы – легированные стали, закаливающиеся в масле Х (ШХ15).

Для штампов повышенной износостойкости применяют стали ледебуритного класса – Х12, Х12М, Х12Ф1. По своей природе они похожи на быстрорежущие, так как в них происходят те же превращения при термической обработке. После заковки и низкого отпуска их структура состоит из легированного мартенсита и карбидов хрома (Cr_7C_3).

Штамповые стали для деформирования в горячем состоянии. Стали, применяемые для изготовления штампов, деформирующих металл в горячем состоянии, должны иметь высокие механические свойства (прочность и вязкость) при повышенных температурах и обладать жаропрочностью, красностойкостью, термостойкостью, прокаливаемостью, стойкостью против отпускной хрупкости.

Многие штампы имеют большие размеры, поэтому сталь для их изго-

товления должна обладать высокой прокаливаемостью. Это обеспечивает высокие механические свойства по всему сечению штампа.

Деформирование металла сопровождается ударными воздействиями, поэтому металл штампов должен обладать известной вязкостью, особенно при штамповке на молотах.

Так как штампы больших размеров быстро охладить практически невозможно, а отпускная хрупкость появляется при медленном охлаждении, то сталь должна быть минимально чувствительна к этому пороку.

Крупные ковочные штампы, испытывающие повышенные ударные нагрузки, а также инструмент ковочных машин и прессов, нагреваемых не выше 500 °С...550 °С при умеренных нагрузках, изготавливают из полутеплостойких сталей 5ХНМ, 5ХГМ, обладающих повышенной вязкостью. Присутствие в стали молибдена или вольфрама повышает теплостойкость, прокаливаемость и уменьшает склонность к обратимой отпускной хрупкости.

Средненагруженный инструмент, работающий с разогревом поверхности до температуры 600 °С, а также инструмент с большой поверхностью, работающий при 400 °С...500 °С, изготавливают из сталей 4Х5В2ФС, 4Х5В4ФМС. Из них изготавливают выталкиватели для неглубоких отверстий, матрицы, различные вставки, инструмент для штамповки трудно деформируемых металлов, пресс-форм для литья под давлением алюминиевых сплавов и т. д. Эти стали теплостойки, мало чувствительны к резкой смене температур, обладают повышенной окалиностойкостью, устойчивы против корродирующего действия жидкого алюминия и обладают высокой прочностью при хорошей вязкости.

Типовая термообработка инструментальных сталей представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Типовая термообработка инструментальных сталей

Содержание углерода, %	Марка стали	Назначение изделий	Характерные свойства изделий	Вид закалки	Структура после закалки	Вид отпуска	Структура после отпуска
<i>Инструментальные</i>							
Доэвтектоидные 0,3 %...0,5 %	3Х2В8Ф, 5ХНМ, 5ХГР, 4Х5В2ФС	Техоснастка для горячей штамповки ($t_{\text{раб}} \approx 400^\circ\text{C}$ и более)	Высокие механические свойства при $t_{\text{раб}}$	Полная	M	Средний ($T_{\text{раб}} = T_{\text{отп}}$)	$T_{\text{отп}}$
Доэвтектоидные 0,6 %...0,8 %	6ХС, У7, 6ХВ2С, 7ХГ2ВМ	Техоснастка для холодной штамповки при ударных нагрузках	Высокая твердость и прочность при повышенной вязкости инструментов	Полная	$M + A_o$	Низкий	$M_{\text{отп}}$
Заэвтектоидные 0,9 %...1,3 %	9ХС, Х, ХГ, ХГР, У12, В1	Режущий, мерительный, штамповый инструмент для холодной штамповки	Высокая твердость	Неполная	$M + \zeta_{\text{II}} + A_{\text{отп}}$	Низкий	$M_{\text{отп}} + \zeta_{\text{II}}$

Для изготовления тяжело нагруженного инструмента, работающего при температурах 600 °С...700 °С, применяют стали повышенной теплостойкости 3Х2В8, 4Х2В5ФМ. Это прошивные пуансоны, выталкиватели для глубоких отверстий, пресс-формы для литья под давлением медных сплавов.

4 Задания к контрольной работе

Для заданных марок стали (таблица В.1) укажите химический состав и определите группу стали по назначению, укажите типовые изделия, изготавливаемые из нее.

Назначьте и обоснуйте термическую или иную обработку, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах обработки этой стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после различных этапов термической или химико-термической обработки.

Литература: [1–3].

Список литературы

- 1 **Струк, В. А.** Материаловедение = Materials science : учебник / В. А. Струк ; под ред. Н. К. Мышкина, В. А. Гольдаде. – Мн. : ИВЦ Минфина, 2023. – 475 с.
- 2 **Свидунович, Н. А.** Материаловедение. Теоретические основы : учеб. пособие / Н. А. Свидунович ; под ред. Н. А. Свидуновича, В. М. Константинова. – Мн. : РИВШ, 2023. – 456 с.
- 3 **Бондаренко, Г. Г.** Материаловедение : учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова ; под ред. Г. Г. Бондаренко. – 2-е изд. – М. : Юрайт, 2021. – 327 с.

Приложение А (справочное)

Перечень типовых вопросов к экзамену по курсу «Материаловедение»

- 1 Металлический тип связи. Характерные свойства металлов. Кристаллическое строение металлов, типы решеток, понятие о координационном числе.
- 2 Строение реальных кристаллов. Линейные дефекты кристаллической решетки.
- 3 Схема скольжения краевой дислокации.
- 4 Поверхностные и объемные дефекты кристаллической решетки.
- 5 Механизм кристаллизации металлов. Уравнение свободной энергии системы.
- 6 Критический размер зародыша, его зависимость от степени переохлаждения.
- 7 Механизм самопроизвольного образования и роста зародыша.
- 8 Скорость процесса кристаллизации.
- 9 Влияние технологических факторов на величину образующихся зерен. Модифицирование I и II рода.
- 10 Строение металлических слитков. Понятие транскристаллической структуры.
- 11 Полиморфные превращения в металлах. Кривые охлаждения и нагрева металлов, испытывающих полиморфные превращения.
- 12 Понятие фазы, типы фаз в сплавах. Схемы искажений кристаллической решетки при образовании твердых растворов.
- 13 Анализ типовых диаграмм состояния сплавов.
- 14 Фазовые превращения в неравновесных условиях.
- 15 Механические свойства, определяемые при статических испытаниях (σ_t , σ_v , δ , φ , $\sigma_{изг}$).
- 16 Методы определения твердости и микротвердости (HB, HRA, HRB, HRC, HV).
- 17 Механические свойства, определяемые при динамических испытаниях. Определение порога хладноломкости (KCU, KCV, KCT).
- 18 Дефекты макроструктуры.
- 19 Дефекты поверхности и формы.
- 20 Фазы в железоуглеродистых сплавах. Основные характеристики железа и углерода.
- 21 Диаграмма состояния «железо – цементит», фазовые превращения, структуры.
- 22 Структуры до-, за- и эвтектоидной сталей, до-, за- и эвтектических чугунов.
- 23 Влияние углерода и постоянных примесей на свойства углеродистых сталей.

24 Классификация и маркировка углеродистых сталей обыкновенного качества и область их применения.

25 Классификация и маркировка углеродистых качественных сталей и область их применения.

26 Диаграмма состояния «железо — графит».

27 Схемы образования структур при графитизации чугуна.

28 Классификация, свойства и области применения чугунов.

29 Влияние постоянных примесей на свойства чугуна.

30 Серый чугун. Модифицированный серый чугун. Их получение, структуры, свойства, область применения и маркировка.

31 Ковкие чугуны. Схема отжига белого чугуна на ковкий перлитный и ковкий ферритный. Их свойства, области применения и маркировка.

32 Высокопрочные чугуны. Их получение, структура, свойства, область применения, маркировка.

33 Определения и классификация видов термической обработки.

34 Четыре превращения при термической обработке стали.

35 Диаграмма изотермического образования аустенита. Четыре этапа превращения перлита в аустенит. Влияние скорости нагрева.

36 Рост зерна аустенита в зависимости от температуры и типа наследственности стали. Влияние размера зерна на механические свойства стали.

37 Превращение переохлажденного аустенита. Диаграммы изотермического превращения аустенита в до-, за- и эвтектоидных сталях.

38 Перлитное превращение и его продукты.

39 Промежуточное превращение, его механизмы.

40 Мартенситное превращение, его особенности.

41 Превращение аустенита при непрерывном охлаждении. Критическая скорость заковки и факторы, влияющие на нее.

42 Четыре превращения при отпуске.

43 Термические и фазовые напряжения, возникающие при нагревании металлических изделий.

44 Проблемы, возникающие при нагреве стали, и методы их устранения.

45 Отжиг 1 рода, его разновидности и назначения.

46 Отжиг 2 рода, его разновидности и назначения.

47 Изотермический отжиг. Сфероидизация. Нормализация.

48 Закалка. Основные способы закалки.

49 Закалочные среды, их преимущества и недостатки. Прокаливаемость и закаливаемость.

50 Внутренние напряжения I, II и III рода. Основные дефекты при закалке и методы их устранения.

51 Цементация и нитроцементация. Термическая обработка после цементации и нитроцементации. Строение и свойства наружных и внутренних слоев.

52 Азотирование, борирование. Строение и свойства поверхностных слоев. Области применения азотирования. Стали для азотирования.

53 Диффузионное насыщение металлами. Алитирование, хромирование. Их назначение, структуры поверхностных слоев.

54 Фазы, образуемые легирующими элементами. Карбидная фаза в легированных сталях. Свойства легированного феррита.

55 Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа.

56 Влияние легирующих элементов: на кинетику распада аустенита; на мартенситные превращения; на превращение при отпуске.

57 Классификация легированных сталей: по структуре после охлаждения на воздухе; по составу; по назначению.

58 Три критерия оценок механических свойств материалов.

59 Механические свойства, определяемые при статических испытаниях. Методы измерения твердости.

60 Механические свойства, определяемые при динамических испытаниях. Определение порога хладноломкости. Понятие о вязком и хрупком разрушении. Факторы, влияющие на характер разрушения.

61 Классификация цементируемых легированных сталей в зависимости от упрочнения их сердцевины. Структуры поверхностных и внутренних зон.

62 Улучшаемые легированные стали. Классификация их по прокаливаемости и маркировка.

63 Отпускная хрупкость I и II рода.

64 Способы повышения прочности сталей при сохранении пластичности. Высокопрочные стали.

65 Механизмы образования сварочных трещин. Строительные и арматурные стали. Требования, предъявляемые к ним. Маркировка, область применения.

66 Рессорно-пружинные стали. Требования, предъявляемые к ним. Маркировка, термообработка, структура, свойства, область применения.

67 Шарикоподшипниковые стали. Требования, предъявляемые к ним. Маркировка, термообработка, структура, свойства, область применения.

68 Процесс ползучести металлов. Пути устранения ползучести.

69 Классификация и маркировка жаропрочных материалов.

70 Перлитные жаропрочные стали. Маркировка, структура, свойства, область применения.

71 Аустенитные жаропрочные стали. Маркировка, структура, свойства, область применения.

72 Сплавы на никелевой основе.

73 Классификация и маркировка инструментальных сталей: по теплостойкости; по назначению.

74 Инструментальные стали, не обладающие теплостойкостью, пониженной прокаливаемостью. Маркировка, термическая обработка, структура, свойства, область применения.

75 Инструментальные стали, не обладающие теплостойкостью, повышенной прокаливаемостью. Маркировка, термическая обработка, структура, свойства, область применения.

76 Быстрорежущие стали. Маркировка, термическая обработка, структура, свойства, область применения.

77 Твердые сплавы. Классификация. Маркировка, механические свойства, область применения.

78 Литые твердые сплавы. Составы сплавов, структуры, область применения.

79 Штамповые стали для деформирования в холодном состоянии. Маркировка, термическая обработка, структура, свойства, область применения.

80 Штамповые стали для деформирования в горячем состоянии. Маркировка, термическая обработка, структура, свойства, область применения.

81 Стали для измерительного инструмента. Требования, предъявляемые к ним. Маркировка, термическая обработка, структура, свойства, область применения.

82 Нержавеющие и кислотостойкие стали. Маркировка, термическая обработка, структура, свойства, область применения.

83 Алюминиевые сплавы. Классификация, типовые диаграммы состояния. Маркировка, термическая обработка, структура, свойства, область применения.

84 Медные сплавы. Классификация, типовые диаграммы состояния. Маркировка, термическая обработка, структура, свойства, область применения.

85 Термопласты. Классификация, состав, свойства, область применения.

86 Реактопласты. Классификация, состав, свойства, область применения.

Приложение Б (справочное)

Пример выполнения контрольной работы

Для заданных сталей укажите химический состав и определите группу стали по назначению, укажите типовые изделия, изготавливаемые из нее.

Назначьте и обоснуйте вид и температуру закалки, охлаждающую среду, вид и температуру отпуска, объяснив влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали. Опишите микроструктуру и свойства стали после различных этапов термообработки.

Задание 1. Сталь 40.

Ответ. Сталь 40 является среднеуглеродистой (улучшаемой) качественной конструкционной сталью. Содержит: 0,37 % С...0,45 % С; по 0,04 % Р и S.

Среднеуглеродистые стали применяются после нормализации, улучшения или поверхностной закалки для самых разнообразных деталей во всех отраслях машиностроения (коленчатые и распределительные валы, шатуны, шестерни, шпиндели, фрикционные диски, штоки, траверсы, плунжеры и т. д.).

Для углеродистых сталей закалку производят с высокой критической скоростью, обычно в воде. Среднеуглеродистую конструкционную сталь подвергают полной закалке (нагрев до температуры на 30 °С выше точки A_{c3}), в этом случае сталь с исходной структурой «перлит + феррит» при нагреве приобретает аустенитную структуру, которая при последующем охлаждении со скоростью выше критической превратится в мартенсит. Такой нагрев обеспечивает мелкие зерна аустенита, а после охлаждения – мелкоигльчатый мартенсит и вязкий, волокнистый излом.

Закалка не является окончательной термической обработкой. Чтобы уменьшить хрупкость и напряжения, вызванные закалкой, и получить требуемые механические свойства, сталь после закалки подвергают отпуску.

Среднеуглеродистые стали подвергают высокому отпуску (600 °С) с целью получения структуры сорбита отпуска, обеспечивающей наилучшее соотношение механических свойств (достаточно высокие значения прочности, твердости, пластичности и вязкости).

После улучшения (полной закалки от температуры 860 °С и высокого отпуска при температуре 600 °С) сталь 40 имеет высокие механические свойства, но прокаливаемость этой стали невелика, критический диаметр при закалке в воде не превышает 10...12 мм, поэтому ее следует применять для небольших деталей или не требующих сквозной прокаливаемости.

Задание 2. Сталь 11ХФ.

Ответ. Состав стали: 1,10 % углерода, до 1 % хрома, 0,15 %...0,30 % ванадия. По назначению она относится к инструментальным сталям. Типовые изделия, изготавливаемые из этой стали: режущий инструмент, не подвергаемый

нагреву выше 200 °С (типа метчиков). Режим термической обработки: неполная закалка от температуры 800 °С...820 °С. Твердость после термической обработки HRC 62...64.

Наличие в структуре карбидов препятствует росту зерна и обеспечивает получение мелкоигольчатой мартенситной структуры при охлаждении. Наличие хрома и ванадия в стали позволяет закалку проводить в масле, что уменьшает деформацию и коробление инструмента.

Мартенсит закали обладает высокой твердостью и прочностью, но хрупок. Для устранения внутренних напряжений, возникающих при закалке, сталь подвергают низкому отпуску. При этом мартенсит закали превращается в отпущенный мартенсит, повышается прочность и незначительно улучшается вязкость стали без заметного снижения твердости.

Типовая термообработка этой стали: неполная закалка и низкий отпуск.

Структура после закали – «мартенсит + цементит вторичный + аустенит остаточный». Структура после отпуска – «мартенсит отпущенный + цементит вторичный». В процессе низкого отпуска за счет диффузии углерода происходят первое и второе превращения при отпуске. При первом превращении из мартенсита закали выделяется большая часть углерода (остается 0,2 % С...0,4 % С), что приводит к снижению степени тетрагональности его кристаллической решетки и уменьшению внутренних напряжений.

При втором превращении из аустенита остаточного выделяется большая часть углерода, что приводит к повышению температур начала и конца мартенситного превращения и завершению мартенситного превращения в процессе охлаждения до температуры окружающей среды.

Легирующие элементы, присутствующие в стали, оказывают существенное влияние на процессы, протекающие при термической обработке. Хром и ванадий предотвращает рост зерна аустенита при нагреве, что способствует более глубокой прокаливаемости. При отпуске легирующие элементы замедляют процесс распада мартенсита, сохраняя более высокую твердость стали.

Приложение В (справочное)

Таблица В.1 – Марки стали

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	Последняя цифра номера зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	80 6ХС	У11 20Х	37ХС 9ХС	45Г 7ХС	55ХН 3Х3М3Ф	38ХЮ У9	40Х У10	45Х Р18	50Х У11	55Х ХВГ
1	У11 18ХГТ	35Х У12	9ХФ 70С3А	Х 35ХГ2	6ХВГ 35ХМФА	9ХВГ 60Г	Х 35СГ	63С2А 5ХНМ	65 Ф	45Х Х2ВФ
2	50Х В1	38ХВА У7	60Г ХВСТ	Ф 70	35ХМ У13	40ХС 8ХФ	60Г Р6М5	Ф 35ГС	35ХМ 7ХФ	40ХС ШХ15
3	40Х 8ХФ	9Х 33ХС	У10 38ХМ	50Г 6ХВГ	5ХНМ 35ХН	33ХС 9ХС	80 У8	Ф 45ХН	37ХС ХВСТ	35Г ШХ9
4	8ХФ 65Г	Ф 70С3А	В1 20ХГР	50Х 5ХНМ	11ХФ 40ХФА	38ХС 3Х2В8Ф	35ГС 4Х5В2ФС	80С 6ХВ2С	20Х 35ХМА	58СН2А ХГ
5	У10 38ХМЮА	У11 25ХГС	У12 40ХГР	У13 20ХН3	Х2ВФ 35ХМ	38ХА 5ХНТ	50 7ХГ2ВМ	45Г ХГ	55ХН 3Х3М3Ф	38ХЮ 5ХГР
6	60Г ШХ9	65Г 8ХФ	70Г 7Х3	75Г 7ХС	30ХН 4Х5МФС	50ХГ 5ХНС	6ХС 50С2	9ХС 60СГА	ХВГ 50ХГФА	9ХС 35ХГ2
7	50 4Х5МФС	55 ХВ	60 Х6ВФ	65 3Х3М3Ф	38ХМ 4Х5В2ФС	45 4Х8В2	70 ХГСВФ	У11 35ХМ	50Х 7Х3	45 6ХВГ
8	В1 35ХМ	65 6ХВГ	Х 70Г	35Г 8Х3	35ХН ШХ6	ХВСТ 38ХЮ	80 8ХФ	У7 18ХГТ	У8 35ХМА	У9 35ХМ
9	55 8ХФ	50Х 4Х5МФС	В2Ф 40ХНМ	40Г 9ХВГ	40ХН 6ХВГ	12Х1 Р9	30 В1	50ХН 6ХС	Х 30ХГС	30Х 8ХФ