МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» дневной формы обучения



Могилев 2026

УДК 621.9.02
ББК 35.112
Т34

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» «31» августа 2026 г., протокол № 1

Составитель канд. техн. наук, доц. С. Н. Хатетовский

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. А. Рабыко

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» дневной формы обучения.

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	М. М. Дударева

Подписано в печать 29.10.2026. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 2,00. Тираж 26 экз. Заказ № 793.

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

Меры безопасности при проведении лабораторных работ …….. 4
1 Лабораторная работа № 1. Термическая обработка углеродистой инструментальной стали ……. 6
2 Лабораторная работа № 2. Структура и свойства инструментальных сталей после термообработки ……..... 11
3 Лабораторная работа № 3. Вакуумные технологии повышения производственного ресурса инструментальных материалов ……. 18
4 Лабораторная работа № 4. Структура твердых сплавов после упрочняющей обработки …… 23
Список литературы ……. 32

Меры безопасности при проведении лабораторных работ

В лабораториях студенты знакомятся с натурными образцами режущих инструментов, составляют эскизы некоторых из них, измеряют параметры инструментов механическими и проекционными средствами, а также выполняют работы, направленные на поддержание готовности к проведению вышеперечисленных операций.

К выполнению работ допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда. Инструктаж проводится перед началом выполнения работ.

Опасными для здоровья и жизни могут оказаться травмирование падающим инструментом, порезы рук острыми кромками инструмента, травмирование используемым в работе неисправным или несоответствующим выполняемой работе слесарным инструментом, поражение током во время работы с проекционными приборами и травмы, связанные с возгоранием воспламеняющихся предметов. Поэтому необходимо выполнять следующие требования:

– осторожно обращаться с изучаемыми инструментами;

– пользоваться исправным и соответствующим выполняемой работе слесарным инструментом при разборке-сборке режущих инструментов;

– не захламлять рабочее место посторонними предметами;

– не курить и не пользоваться открытым огнем в помещении лаборатории;

– к работе с проекционными приборами приступать только после их проверки преподавателем.

Соблюдение требований по охране труда является обязательным для каждого работающего в лаборатории. Лица, нарушившие требования настоящей инструкции, привлекаются к ответственности в зависимости от последствий, вызванных нарушениями.

Перед началом работы ознакомиться с настоящей инструкцией.

Проверить:

– отсутствие поврежденных элементов конструкции проекционных приборов и слесарного инструмента, а также соответствие слесарного инструмента выполняемой работе;

– исправность штепсельных соединений электропроводки заземления и первичных средств пожаротушения;

– отсутствие посторонних предметов на рабочем месте.

Все тумблеры должны быть в положении «выкл».

Указанные проверки проводит преподаватель или лаборант и при обнаружении неисправностей принимает меры по их устранению. Он же выдает задание на работу и все необходимое для ее выполнения.

Во время работы:

– работу выполнять в соответствии с инструкцией;

– быть внимательными в обращении с инструментами, выданными для работы;

– не оставлять прибор включенным без наблюдения;

– не соединять или разъединять штепсельные разъемы при включенном питании;

– не устанавливать на прибор посторонние предметы и не испытывать его на прочность;

– не производить замену соединительных кабелей, шнуров, предохранителей, лампочек подсветки и ремонт аппаратуры.

В случае травмирования кого-либо немедленно доложить преподавателю.

При выходе проекционного прибора из строя необходимо:

– отключить прибор соответствующим тумблером (обесточить);

– вынуть вилку из штепсельной розетки;

– доложить преподавателю о случившемся, а в случае возгорания приступить к немедленной его ликвидации первичными средствами пожаротушения.

По окончании работы:

– выключить прибор;

– отключить прибор от сети питания;

– убрать рабочее место и передать преподавателю или лаборанту выданные для работы инструкции и инструменты;

– сообщить преподавателю обо всех недостатках, обнаруженных во время работы.

1 Лабораторная работа № 1. Термическая обработка углеродистой инструментальной стали

Цель работы: ознакомиться и изучить технологический процесс термообработки инструментальных углеродистых сталей.

1.1 Задание

Произвести закалку и отпуск образцов из инструментальной углеродистой стали.

1.2 Перечень используемого оборудования

Образцы из инструментальной углеродистой стали, штангенциркуль, шлифовальная бумага, прибор для измерения твердости, электропечь.

1.3 Порядок проведения работы

1 Определить твердость образцов из углеродистой стали в исходном состоянии.

2 Произвести закалку образцов в воде и масле.

3 Определить твердость образцов после закалки.

4 Произвести отпуск при температуре, равной 200 °С, 400 °С, 600 °С закаленных образцов.

5 Определить твердость после каждого отпуска.

6 Построить кривые влияния отпуска на изменение твердости.

7 Составить отчет о проделанной работе.

Подготовка образцов для термической обработки.

Образцы должны быть цилиндрическими диаметром 10…15 мм и высотой 15…20 мм из углеродистой инструментальной стали У9. Образцы измеряются при помощи штангенциркуля и результаты замера записываются в графу 3 таблицы 1.2.

Определение твердости стали У9 в исходном состоянии.

Определить твердость (по HRB) образцов в исходном состоянии, сделать перевод полученного результата по таблице 1.1 на твердость НВ и оба значения твердости записать в графы 4 и 5 таблицы 1.2.

Таблица 1.1 – Нормы твердости углеродистой инструментальной стали в исходном состоянии

Марка стали	Твердость отожженной стали НВ (не более)
У9	192
У10	197
У12	207

Таблица 1.2 – Экспериментальные данные

Номер образца	Марка стали	Диаметр образца, мм	Твердость в исходном состоянии		Температура закалки, °С	Время нагрева при T °С, мин	Твердость после закалки HRC		Время выдержки при отпуске, мин	Твердость после отпуска 200 °С HRC		Твердость после отпуска 400 °С HRC		Твердость после отпуска 600 °С HRC	
							в воде	в масле		закалка в воде	закалка в масле	закалка в воде	закалка в масле	закалка в воде	закалка в масле
			HRB	HRC											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Закалка образцов и определение твердости образцов после закалки. Образцы из стали У9 нагревают в муфельных электропечах различной конструкции.

Методика проведения закалки.

Определить температуру закалки инструментальной углеродистой стали, пользуясь для этого нижней частью диаграммы «железо – цементит» (рисунок 1.1).

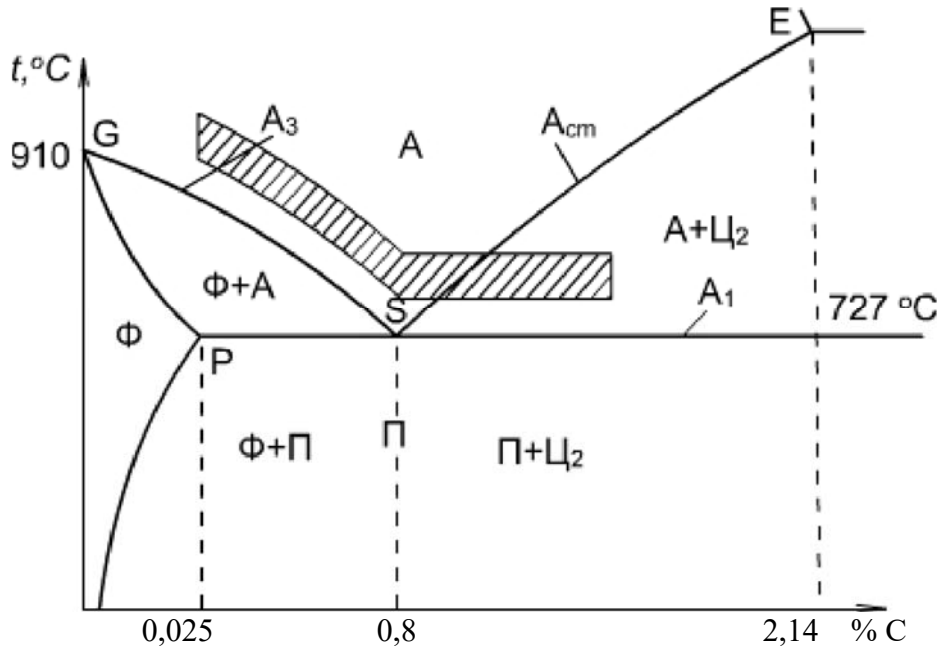


Рисунок 1.1 – Оптимальный интервал температур закалки углеродистой стали

Для высокоуглеродистых заэвтектоидных сталей (У9–У12) нормальной температурой закалки является температура на 30 °С…50 °С выше линии PS (см. рисунок 1.1), т. е. A_1 + (30 + 50) °С. Температуру закалки записать в графу 7 таблицы 1.2.

Определить время нагрева образцов из расчета 1,5 мин на 1 мм диаметра и записать в графу 7 таблицы 1.2.

Образцы поместить в печь, нагретую до температуры закалки для данной стали, и выдержать в ней требуемое время. При нагревании до температуры закалки образцов из стали У9 исходная структура будет аустенит и цементит, т. е. часть цементита останется нерастворенной.

Образцы последовательно один за другим вынуть из печи и охладить в воде (часть образцов) и в масле при непрерывном энергичном движении образца в охлаждающей жидкости. При охлаждении в воде происходит распад аустенита с образованием мартенсита. При охлаждении в масле образуется смешанная мартенситно-троститная структура.

Оба торца образца зачистить на шлифовальной шкурке.

Определить твердость закаленных образцов и полученный результат записать в графы 8 и 9 таблицы 1.2.

Отпуск образцов и определение твердости углеродистой стали после отпуска.

Методика проведения отпуска.

Определить время выдержки при температуре отпуска из расчета 2…3 мин на 1 мм диаметра и записать в графу 10 таблицы 1.2.

Образцы поместить в печь, нагретую до 200 °С, выдержать в ней необходимое время и охладить на воздухе. В результате отпуска при T = 200 °С происходит превращение мартенсита закалки в мартенсит отпуска, снижение внутренних напряжений и хрупкости; твердость остается почти без изменений.

Оба торца зачистить на шлифовальной бумаге.

Определить твердость по HRC и полученный результат записать в графы 11 и 12 таблицы 1.2.

Образцы поместить в печь, нагретую до 400 °С, выдержать в ней необходимое время и охладить на воздухе. В результате отпуска при T = 400 °С происходит превращение мартенсита в тростит отпуска (мелкодисперсную ферритно-цементитную смесь), твердость снижается.

Оба торца зачистить на шлифовальной бумаге.

Определить твердость по HRC и полученный результат записать в графы 13 и 14 таблицы 1.2.

Образцы поместить в печь, нагретую до 600 °С, выдержать в ней необходимое время и охладить на воздухе. В результате отпуска при T = 600 °С образуется сорбит отпуска, ферритно-цеменцитная смесь более крупная, чем тростит. Твердость еще более снижается.

Оба торца зачистить на шлифовальной бумаге.

Определить твердость по HRC и полученный результат записать в графы 15 и 16 таблицы 1.2.

Построить кривые влияния температуры отпуска на изменение твердости закаленной стали в координатах «температуры отпуска – твердость» (рисунок 1.2).

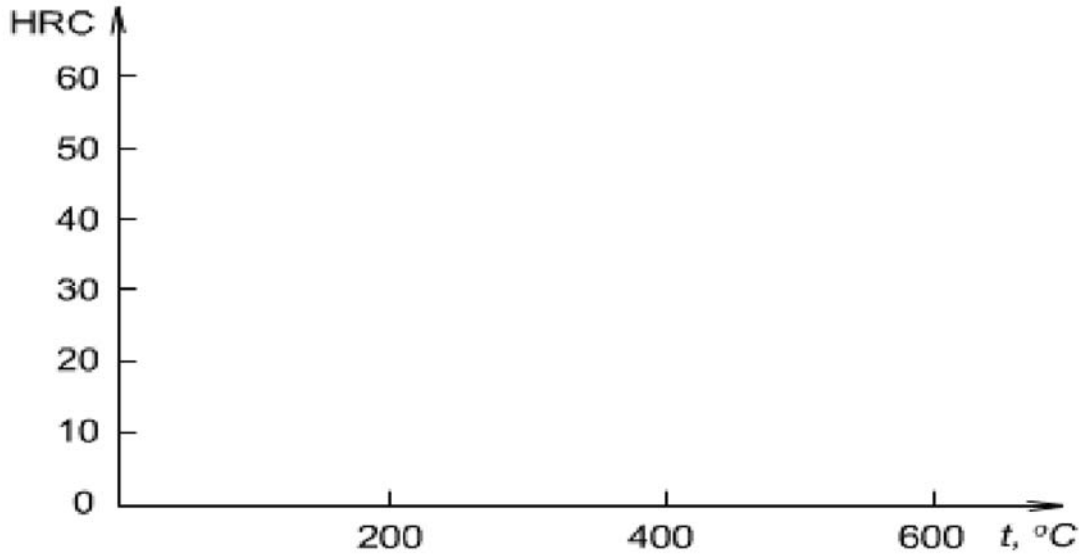


Рисунок 1.2 – Термическая обработка углеродистой инструментальной стали

Содержание отчета

1 Цель работы.

2 Термообработка инструментальной углеродистой стали.

3 Таблица результатов работы.

4 Кривые влияния отпуска на изменение твердости закаленных инструментальных углеродистых сталей.

Контрольные вопросы

1 Что такое отпуск?

2 Какие причины обусловливают необходимость проведения отпуска?

3 Виды отпуска.

4 Чем определяется выбор температуры отпуска?

5 Основное превращение, протекающее при отпуске.

6 От каких факторов зависят скорость и полнота превращений при отпуске?

7 Влияние температуры отпуска на механические свойства стали.

8 Какие процессы проходят в закаленной стали при ее последующем нагреве до температуры 200 °С?

9 Какие процессы проходят в закаленной стали при ее последующем нагреве до температуры 400 °С?

10 Какие процессы проходят в закаленной стали при ее последующем нагреве до температуры 600 °С?

11 Какой комплекс термической обработки называют улучшением?

12 Для какой группы деталей целесообразно проводить улучшение?

13 Чем отличается улучшение от нормализации?

14 Что такое закалка?

15 Как изменяются механические свойства в результате закалки?

16 Равновесные критические точки, их смысл и обозначение.

17 Обозначение и отличие фактических критических точек от равновесных.

18 Назначение нагрева, выдержки и охлаждения при закалке.

19 Что такое критическая скорость закалки?

20 От чего зависит и как практически определяется общее время выдержки при закалке?

21 Структура доэвтектоидной закаленной стали.

22 Структура заэвтектоидной закаленной стали.

23 Что такое мартенсит?

2 Лабораторная работа № 2. Структура и свойства инструментальных сталей после термообработки

Цель работы: изучить назначение, классификацию, маркировку и режимы термической обработки инструментальных сталей.

2.1 Краткие теоретические сведения

По назначению инструменты делятся на формообразующие и измерительные. Формообразующие инструменты подразделяются на режущие (резцы, фрезы, сверла, развертки), деформирующие (штампы, накатки) и ударные (зубила, пробойники). В свою очередь, различают штампы холодного и горячего деформирования металлов («холодные» и «горячие» штампы).

Режущие инструменты, работающие в условиях больших нагрузок, высоких температур и трения, должны удовлетворять ряду особых эксплуатационных требований: твердость материала режущей части инструмента должна значительно превышать твердость материала заготовки, высокая прочность обеспечивает сопротивляемость инструмента деформациям в процессе резания, а достаточная вязкость материала инструмента позволяет ему воспринимать ударные динамические нагрузки, возникающие при обработке заготовок. Поскольку в процессе резания механическая энергия превращается в тепловую, режущая кромка инструмента нагревается до высоких температур.

Сталь в штампах испытывает значительные тепловые и ударные нагрузки, неравномерно распределенные по объему и значительной поверхности. Здесь наилучшей сталью является та, у которой при температурах, соответствующих условиям работы штампа, наблюдается оптимальное сочетание твердости и пластичности.

Условия работы измерительного инструмента приближаются к условиям работы режущего инструмента при легких режимах резания, различие состоит лишь в значительно меньших удельных давлениях на рабочие поверхности. Для разных видов инструмента применяют инструментальные стали разного типа.

Инструментальными сталями называют углеродистые и легированные стали, обладающие высокой твердостью, прочностью, износостойкостью, применяемые для изготовления режущих, измерительных инструментов и штампов.

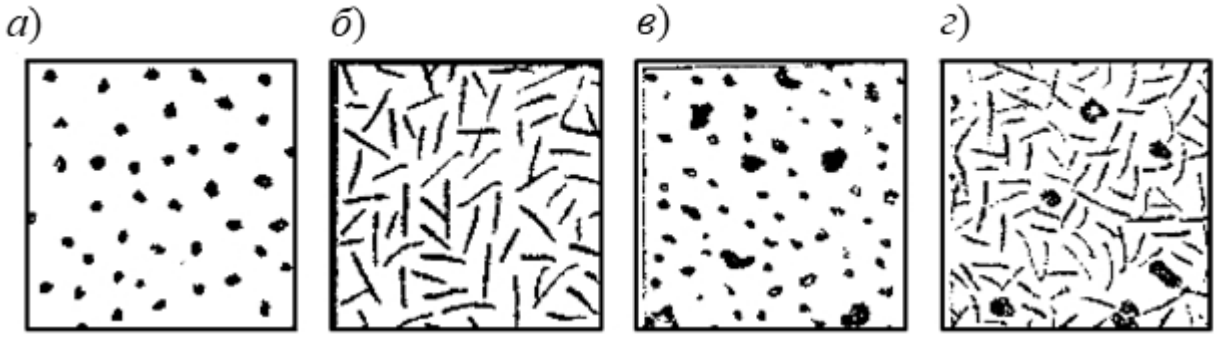
Одной из главных характеристик инструментальных сталей является теплостойкость (или красностойкость), т. е. устойчивость против отпуска при нагреве инструмента в процессе работы. Различают инструментальные стали, не обладающие теплостойкостью (углеродистые и легированные стали, содержащие до 3 %…4 % легирующих элементов), полутеплостойкие (содержащие свыше 0,6 %…0,7 % C и 4 %…3 % Cr) и теплостойкие (высоколегированные стали ледебуритного класса, содержащие Cr, W, V, Mo, Co), получившие название быстрорежущих.

Основным элементом, определяющим высокую износостойкость инструментальных сталей, является углерод, т. к. твердость, а следовательно,

и износостойкость инструмента после термообработки зависят от содержания углерода в мартенсите. Наличие легирующих элементов в значительной степени влияет на прокаливаемость стали, а также увеличивает стабильность мартенсита при нагреве закаленной стали.

Углеродистые инструментальные стали (У7, У8Г, У12А, У8ГА) маркируют буквой У (углеродистая); следующая за ней цифра – средняя массовая доля углерода в десятых долях процента, буква Г говорит о повышенном содержании марганца в данной стали, А – высококачественная, т. е. имеющая меньше серы и содержания фосфора сталь.

Доэвтэктоидные и эвтектоидные инструментальные стали в исходном (отожженном) состоянии имеют структуру зернистого перлита (рисунок 2.1).



а – сталь У8 после отжига – перлит зернистый; *б* – сталь У8 после закалки и низкого отпуска – мартенсит отпуска; *в* – сталь У12 после отжига – перлит зернистый + цементит вторичный; *г* – сталь У12 после закалки и низкого отпуска – мартенсит отпуска + цементит вторичный

Рисунок 2.1 – Схема микроструктуры углеродистых инструментальных сталей

В структуре заэвтектоидных сталей дополнительно присутствует вторичный цементит. Стали с такой структурой имеют низкую твердость и хорошо обрабатываются резанием. Температура закалки у доэвтектоидных сталей должна быть выше верхней критической точки Ac_3 ($t = Ac_3 + 20 – 40$) °С, а у эвтектоидных и заэвтектоидных – выше нижней критической точки Ac_1 ($t = Ac_1 + 20 – 40$) °С, чтобы в результате закалки сталь получила мартенситную структуру. У заэвтэктоидных сталей при этом сохраняется вторичный цементит. Закалку проводят в воде или в водных растворах солей. После закалки инструментальные углеродистые стали подвергаются низкому отпуску при 150 °С…170 °С (рисунок 2.2), снимающего значительную часть закалочных напряжений при сохранении высокой твердости. Формируется структура мартенсит отпуска. У заэвтектоидных инструментальных сталей в структуре дополнительно присутствует вторичный цементит (см. рисунок 2.1). Поскольку углеродистые стали обладают низкой прокаливаемостью, из них изготовляют в основном инструмент небольшой толщины (напильники, ножовочные полотна, хирургический инструмент).

Углеродистые стали можно использовать в качестве режущего инструмента только для резания материалов с низкой твердостью и с малой скоростью резания, т. к. при нагреве выше 190 °С…200 °С их твердость резко снижается.

Легированная инструментальная сталь (Х, 9Х, 9ХС, 6ХВГ) производится в основном высококачественной, поэтому буква А в конце марки не ставится. Цифра в начале марки показывает среднюю массовую долю углерода в десятых долях процента. Если содержание углерода около 1 %, то цифра обычно отсутствует. Буквы означают легирующие элементы: А (внутри марки) – азот, В – вольфрам, Г – марганец, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром. Цифры, стоящие после букв, показывают среднюю массовую долю легирующего элемента в целых процентах. Отсутствие цифры после буквы означает, что содержание этого легирующего элемента находится в пределах от 0,1 % до 1 %. Легированные инструментальные стали, подобно углеродистым, не обладают теплостойкостью и пригодны только для резания относительно мягких материалов с небольшой скоростью. Их используют для инструмента, не подвергаемого в работе нагреву свыше 200 °С … 250 °С. Легированные стали обладают большей прокаливаемостью, чем углеродистые.

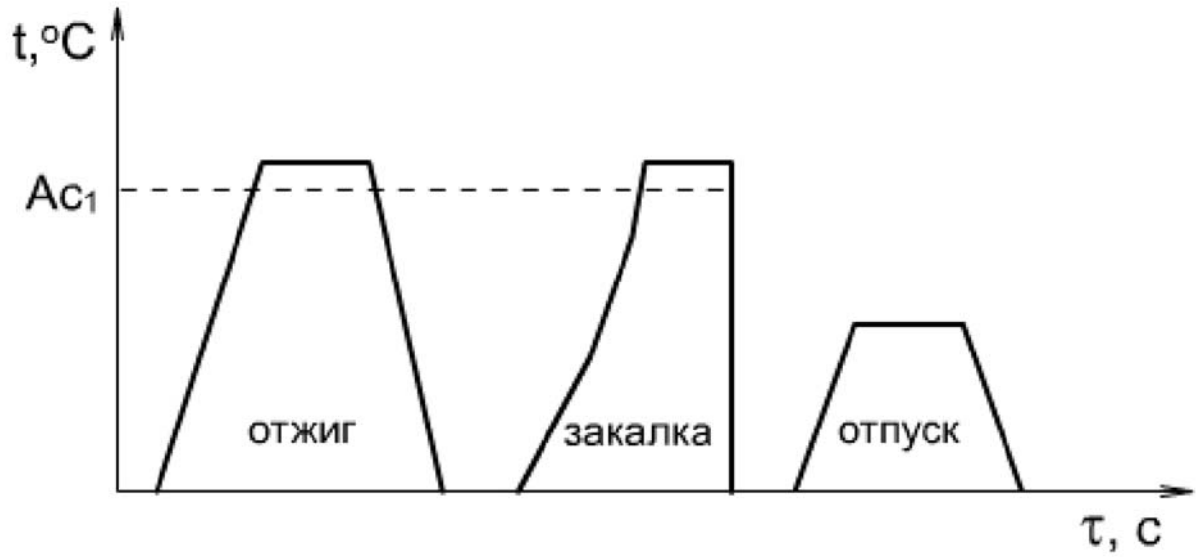


Рисунок 2.2 – График термической обработки заэвтектоидной инструментальной стали

Низколегированные стали (11 Х, 13Х) рекомендуются для инструментов диаметром до 15 мм, а стали повышенной прокаливаемостью (9ХС, ХВСГ) имеют большую теплостойкость (250 °С…280 °С), хорошие режущие свойства и сравнительно мало деформируются при закалке. Их используют для изготовления инструментов диаметром 60…80 мм.

Окончательная термическая обработка легированных сталей состоит из неполной закалки и низкого отпуска, подобно углеродистым (см. рисунок 2.2).

При неполной закалке изделие нагревают до $t = Ac_1 + (30 – 50)$ °С, выдерживают и быстро охлаждают в масле или горячих средах, что уменьшает их

коробление по сравнению с углеродистыми, охлаждаемыми в воде. Низкий отпуск проводят при температуре 150 °С…180 °С.

Структура инструментальных легированных сталей после окончательной термической обработки состоит из отпущенного легированного мартенсита и легированного зернистого цементита, т. е. она качественно подобна структуре углеродистой заэвтектоидной инструментальной стали после аналогичной термообработки (см. рисунок 2.1).

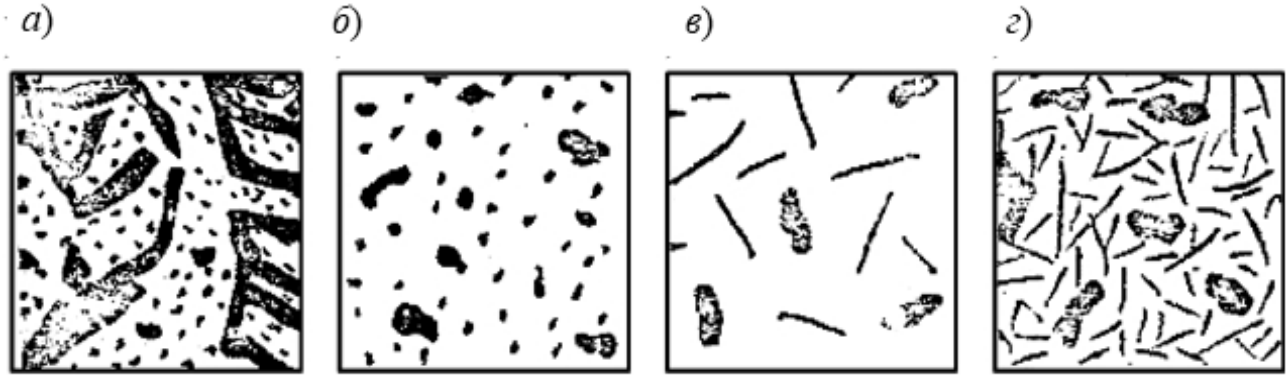
Быстрорежущая сталь маркируется буквой Р, а следующая за ней цифра указывает среднюю массовую долю главного легирующего элемента быстрорежущей стали – вольфрама (Р18, Р6М5, Р10К5Ф5). Среднее содержание других легирующих элементов обозначается цифрой после соответствующей буквы. Среднее содержание хрома в большинстве быстрорежущих сталей составляет 4 % и поэтому в обозначении марки стали не указывается. Кроме того, не указывается содержание молибдена до 1 % по массе и ванадия, если его содержание меньше, чем молибдена.

В быстрорежущих сталях теплостойкость достигается легированием карбидообразующими элементами (вольфрамом, молибденом, хромом, ванадием) в таком количестве, при котором они связывают почти весь углерод в специальные карбиды. Эти стали сохраняют мартенситную структуру при нагреве до 600 °С…650 °С, поэтому применение их позволяет значительно повысить скорость резания (в 2–4 раза) и стойкость инструмента (в 10–30 раз) по сравнению со сталями, не обладающими теплостойкостью.

Быстрорежущие стали относятся к карбидному (ледебуритному) классу. Их фазовый состав в отожженном состоянии представляет собой легированный феррит и карбиды Cr_7C_3, $Fe_3W_3C_6$, VC, в которых также растворен ванадий. В феррите растворена большая часть хрома: почти весь вольфрам, молибден и ванадий находятся в карбидах. Количество карбидной фазы в быстрорежущих сталях достигает 22 %…30 %.

В структуре литой быстрежущей стали присутствует сложная эвтектика, напоминающая ледебурит. В результате горячей механической обработки (ковки) сетка ледебуритной эвтектики дробится (рисунок 2.3). Для снижения твердости, улучшения обработки резанием и подготовки структуры стали к закалке после ковки быстрорежущую сталь подвергают отжигу при 800 °С…860 °С. Для придания теплостойкости стали инструменты подвергают закалке и многократному отпуску (рисунок 2.4).

Режимы термической обработки инструментальных сталей приведены в таблицах 2.1–2.3.



а – литая и отожженная – сорбитообразный перлит + карбиды + ледебуритная эвтектика; *б* – горячедеформированная и отожженная – сорбитообразный перлит + карбиды; *в* – закаленная – мартенсит закалки + аустенит остаточный + карбиды; *г* – отпущенная – мартенсит отпуска + карбиды

Рисунок 2.3 – Схема микроструктуры быстрорежущих сталей

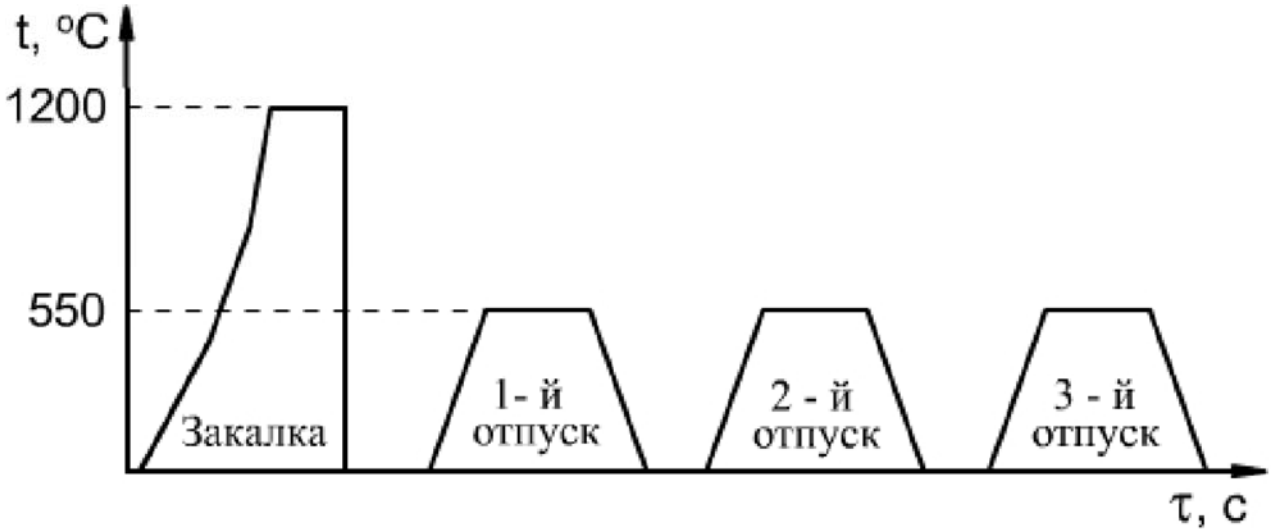


Рисунок 2.4 – График термической обработки быстрорежущей стали

Таблица 2.1 – Режим термической обработки инструментальных углеродистых сталей

Марка стали	Отжиг		Закалка		Отпуск	
	Температура, °С	Твердость НВ	Температура, °С	Среда охлаждения	Температура, °С	Твердость HRC
У7	690…710	187	800…820	Вода	150…160	62
У8	690…710	187	780…800	Вода	150…160	62
У10	750…770	197	770…810	Вода	150…160	63
У11	750…770	207	770…800	Вода	150…160	63
У13	750…770	217	760…790	Вода	150…160	63

Таблица 2.2 – Режимы термической обработки инструментальных легированных сталей

Марка стали	Отжиг		Закалка		Отпуск	
	Температура, °С	Твердость НВ	Температура, °С	Среда охлаждения	Температура, °С	Твердость НВ
Х	770…790	225…207	830…860	Масло	180…200	66…59
9ХС	790…810	255…207	820…860	Масло	140…160	60…62
ХГСВФ	790…810	228…196	820…850	Масло	140…160	61…63
ХГ	780…800	241…197	800…830	Масло	150…200	61…62
ХВГ	770…790	255…207	820…840	Масло	160…180	62…63
ХВСГ	790…810	229…197	840…860	Масло	160…180	62…63
ХСВФ	830…850	228…187	840…860	Масло	170…180	61…63
3Х2В8Ф	1140…1160	255…207	1120…1160	Масло	550…560	45…51
4Х8В2	750…780	255…207	1120…1140	Масло	550…560	49…51

Температуру закалки быстрорежущей стали принимают в интервале 1200 °С…1290 °С. Высокие температуры закалки необходимы для более полного растворения карбидов и получения при нагреве аустенита, высоколегированного хромом, вольфрамом, молибденом и ванадием. Это обеспечивает получение после закалки мартенсита, обладающего высокой теплостойкостью. Однако даже при очень высоком нагреве растворяется только часть карбидов, примерно 30 %…60 % от имеющихся у различных марок быстрорежущих сталей.

Таблица 2.3 – Режимы термической обработки быстрорежущих сталей

Марка стали	Отжиг		Закалка		Отпуск	
	Температура, °С	Твердость НВ	Температура, °С	Среда охлаждения	Температура, °С	Твердость НВ
Р18	830…850	207…255	1260…1300	Масло, соли	550…570	64…65
Р10К5Ф5	840…860	285	1220…1240	Масло, соли	575…585	65…67
Р9К5	840…860	269	1220…1240	Масло, соли	555…565	65…67
Р6М3	830…850	207…235	1210…1230	Масло, соли	555…565	65…66
Р18Ф2К8	850…870	263…277	1220…1260	Масло, соли	560…570	67…68
Р9Ф5	840…860	269	1240…1260	Масло, соли	575…585	65…67
Р14Ф4	850…860	269	1240…1260	Масло, соли	575…585	67…68
Р18Ф2	840…860	269	1260…1380	Масло, соли	575…585	67…68

Высоколегированный аустенит, полученный при нагреве под закалку, обладает большой устойчивостью, поэтому быстрорежущие стали имеют малую критическую скорость охлаждения (закалки) и могут закаливаться на воздухе. Однако на практике в качестве охлаждающей среды применяется масло.

Структура быстрорежущей стали после закалки представляет высоколегированный мартенсит, содержащий 0,3 %...0,4 % С, нерастворенные избыточные карбиды и высоколегированный остаточный аустенит, составляющий 25 %...35 %. Поскольку остаточный аустенит понижает режущие свойства стали, его присутствие в готовом инструменте недопустимо.

После закалки следует отпуск при 550 °С…570 °С, вызывающий превращение остаточного легированного аустенита в легированный мартенсит и дисперсионное твердение в результате частичного распада мартенсита и выделения карбидов (см. рисунок 2.1), что сопровождается увеличением твердости. Чтобы весь остаточный аустенит перевести в мартенсит и произошел отпуск вновь образовавшегося мартенсита, применяют многократный (чаще трехкратный) отпуск при 550 °С…570 °С.

3.2 Задание

Начертить схемы микроструктур исследуемых сталей; определить режимы термической обработки сталей.

3.3 Перечень используемого оборудования

Металлографические микроскопы, образцы инструментальных сталей.

Содержание отчета

1 Название работы.
2 Цель работы.
3 Схемы микроструктур исследуемых сталей.
4 Режимы термической обработки сталей.
5 Выводы.

Контрольные вопросы

1 Какими основными качествами должен обладать инструмент?
2 Наличие каких элементов в составе инструментальных сталей обеспечивает высокую твердость инструмента после закалки?
3 Какое основное назначение Cr, W, V, Mo в инструментальных сталях?
4 Как подразделяются стали по теплостойкости?
5 Что такое теплостойкость стали?
6 Какие инструменты требуют сплошной прокаливаемости?
7 Какие основные преимущества имеют легированные инструментальные стали перед углеродистыми?

3 Лабораторная работа № 3. Вакуумные технологии повышения производственного ресурса инструментальных материалов

Цель работы: изучить методы упрочнения изделий из металлов и сплавов; ознакомиться с назначением, конструкцией вакуумной установки для упрочнения, изучить технологический процесс упрочнения в вакууме; изучить практические навыки работы на установке при упрочнении в вакууме образцов из инструментальных материалов ВК, ТК, ТТК, КНТ, быстрорежущих сталей, сверхтвердых материалов.

3.1 Краткие теоретические сведения

Методы упрочнения изделий из металлов и сплавов представлены на рисунке 3.1.

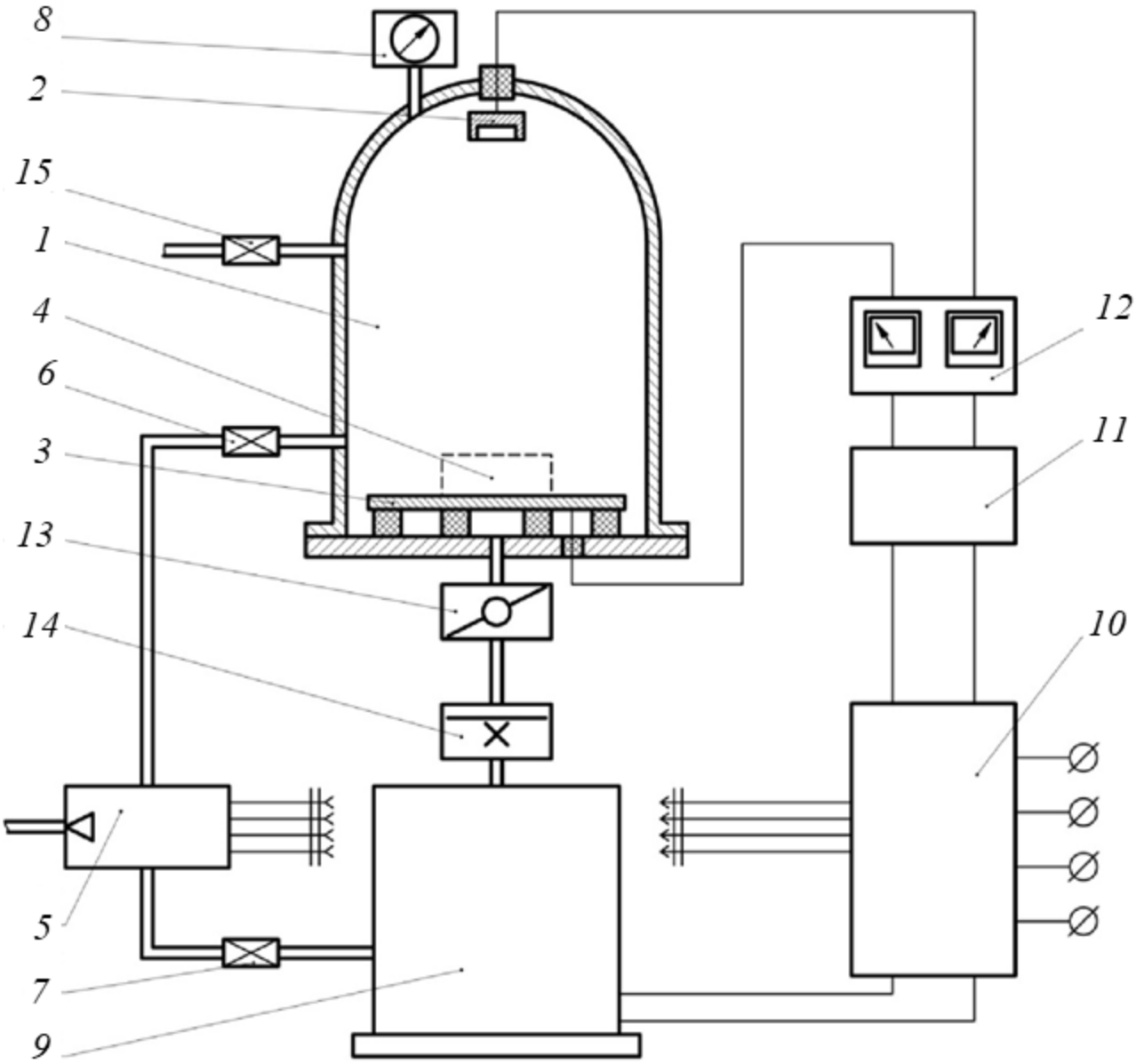


Рисунок 3.1 – Методы упрочнения изделий из металлов и сплавов

Назначение вакуумной установки и ее конструкция.

Вакуумная установка типа ВУ-03 предназначается для упрочнения в вакууме изделий из металлов и сплавов потоком низкоэнергетических ионов. Упрочнению подвергаются различные инструментальные материалы, твердые сплавы, СТМ, минераллокерамика, цветные сплавы, конструкционные и легированные стали.

Конструкция установки типа ВУ-03 представлена на рисунке 3.2.



1 – камера; *2* – анод; *3* – стол (катод); *4* – изделие; *5* – форвакуумный насос; *6*, *7*, *15* – клапан; *8* – система измерения давления; *9* – диффузионный насос; *10* – блок питания; *11* – преобразователь высокого напряжения; *12* – блок измерения электрических параметров разряда; *13* – заслонка; *14* – ловушка

Рисунок 3.2 – Конструкция установки типа УВУМ

Сущность процесса вакуумного упрочнения.

Сущность способа состоит в следующем. В вакуумную камеру, в которой выполнены два электрода – анод и катод (столик), загружают детали, инструмент или другие изделия, герметизируют камеру и откачивают из нее воздух до давления 13,3 Па. Откачка осуществляется при помощи форвакуумного насоса (насос предварительной откачки, обычно, механического типа). В случае большого газоотделения от изделий, стенок камеры, приспособлений, если не справляется форвакуумный насос, включается высоковакуумный паромасляный насос, имеющий большую скорость откачки, и доводят давление в камере до указанной величины. После достижения в камере заданной степени разряжения на электроде подается от источника питания потенциал постоянного тока величиной 2…2,5 кВ. При данном потенциале в камере между анодом и катодом возбуждается тлеющий разряд.

Частицы, составляющие плазму тлеющего разряда, бомбардируют поверхность помещенных на катод изделий. Под воздействием кинетической энергии частиц в материалах происходит коллективная перестройка потенциальных барьеров кристаллической решетки, создавая в твердых телах сильно возбужденное неравновесное состояние. Данное состояние является долгоживущим, т. е. сохраняется достаточно длительное время. В результате воздействия низкоэнергетических частиц материалы приобретают новый комплекс свойств, отличающихся от свойств исходного материала. При этом изменяются практически все свойства: физические, химические, механические, эксплутационные. В частности, повышается микротвердость инструмента, повышается предел текучести при незначительном изменении относительного удлинения (пластичности), изменяется теплоемкость материала, повышается стойкость инструмента и износостойкость деталей машин.

Технологический процесс упрочнения.

Технологический процесс упрочнения состоит из двух этапов:

1) технологической подготовки инструмента для упрочнения;

2) самого процесса упрочнения.

Технологическая подготовка инструмента для упрочнения.

Перед загрузкой пластин в камеру они должны быть очищены от грязи, масла и промыты вначале в растворителе, а затем – в этиловом спирте. После промывки инструмент просушивается горячим воздухом в шкафу.

Процесс упрочнения.

Упрочнение осуществляется на установке ВУ-03. Установка до начала работы должна быть разогрета, т. е. паромасляный насос её должен быть готов к действию (на подготовку насоса к работе затрачивается не менее 35…40 мин).

После загрузки изделий в камеру и ее герметизации нажатием кнопки *6* на пульте управления включается откачка камеры форвакуумным насосом. Откачка камеры ведется до давления 7,33 Па, определяемого по вакуумметру, вмонтированному в стойку блока питания.

Примечание. – Кнопка *6* на пульте управления включает пневмоклапан, связывающий камеру с форвакуумным насосом. Во избежание выброса масла из насоса в атмосферу клапан открывают толчками (10–15 нажатий на кнопку *6*).

После достижения разряжения более 7,33 Па форвакуумный клапан закрывается нажатием кнопки *6* и включается откачка камеры диффузионным насосом. Для того чтобы диффузионный насос начал откачку, необходимо открыть высоковакуумный затвор путем нажатия кнопки *8* на пульте управления. Ввиду большой скорости откачки степень разряжения будет быстро расти. При достижении степени разряжения 13,3 Па кнопкой *8* закрывают затвор, который отсекает диффузионный насос от камеры.

Параметры процесса.

Параметры процесса задаются преподавателем. К ним относятся: разность потенциалов (напряжение), давление в камере, сила тока и время (продолжительность) процесса. Все эти параметры (кроме времени) контролируются и поддерживаются по приборам, вмонтированным в лицевую панель блока управления.

После назначения режимов процесса с помощью кнопки, расположенной под киловольтметром, включают источник высокого напряжения и по киловольтметру с помощью ручки регулятора, расположенной на правой боковине стойки, выставляют заданное напряжение. После подачи высокого напряжения необходимо внимательно наблюдать за поведением стрелки миллиамперметра. Как только стрелка миллиамперметра сдвинется, в камере возбудится тлеющий разряд. Следует иметь в виду, что тлеющий разряд возбуждается только при определенных параметрах, т. е. определенном давлении в камере и разности потенциалов между анодом и катодом. По мере повышения давления в камере за счет газоотделения, натекания интенсивность плазмы разряда будет усиливаться, т. е. изменяться как по форме столба, так и по яркости его свечения. При этом напряжение между анодом и катодом также несколько понижается, а ток может нарастать достаточно быстро.

В момент, когда значение силы тока достигнет заданной величины, необходимо открыть затвор паромасляного насоса путем нажатия кнопки *8* или кнопки дистанционного управления. При открытии затвора степень разряжения быстро падает, и ток падает также резко. Здесь необходимо внимательно наблюдать за показаниями стрелочных приборов (в основном миллиамперметра) и, учитывая инерционность работы клапана и насоса, стараться поддерживать процесс в заданных режимах. Отсчет времени длительности процесса начинается с момента достижения силой тока заданного значения.

Процесс упрочнения заканчивается по прошествии заданного времени путем снятия высокого напряжения с источника питания вращением ручки регулятора, а затем нажатием красной кнопки выключения источника питания.

После снятия высокого напряжения выключается вакуумметр и камера разгерметизируется нажатием кнопки *9*, управляемой напуском воздуха в камеру. После открытия крышки камеры натекатель выключается и инструмент извлекается из камеры.

Контроль эффективности упрочнения.

Эффективность упрочнения можно проверить непосредственно при эксплуатации инструмента или измерением микротвердости.

Определение эффективности упрочнения инструмента.

Эффективность упрочнения выявляется при точении упрочненным инструментом стальной заготовки на токарно-винторезном станке по технологическому износу, т. е. по изменению шероховатости поверхности (она очень явно наблюдается при значительном износе резца).

О наличии эффекта упрочнения будет свидетельствовать длина обработки, которую сравнивают с длиной обработки неупрочненным инструментом.

Измерение микротвердости.

Об эффективности свидетельствует повышение микротвердости упрочняемого материала. Измерение микротвердости производится на приборе ПМТ-3 при вдавливании алмазной пирамиды в плоскость металлографического шлифа. Образцы инструмента для измерения (металлорежущие шлифы) были изготовлены из стали Р6М5. На плоскости шлифа (нетравленного) выполняют не менее 10 наколов, а затем определяют среднее арифметическое значение твердости, отбрасывая при этом слишком большие и малые отпечатки.

Микротвердость определяют до упрочнения. После этого образцы упрочняются по заданным режимам. Операции накалывания и измерения отпечатков повторялись в том же месте образца. Производится сравнение значений микротвердости до и после упрочнения.

4.2 Задание

Произвести упрочнение подготовленного инструмента вакуумным методом.

4.3 Перечень используемого оборудования

Вакуумная установка, металлографические микроскопы, образцы инструментальных сталей.

4.4 Порядок проведения работы

1 Ознакомиться с методами упрочнения.
2 Ознакомиться с назначением и конструкцией вакуумной установки.
3 Изучить сущность процесса вакуумного упрочнения.
4 Изучить схему процесса вакуумного упрочнения.
5 Подготовить инструментальные материалы для упрочнения.
6 Произвести упрочнение подготовленного инструмента.
7 Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

1 Цель работы.
2 Назначение установки типа ВУ-03, ее конструкция.
3 Методы упрочнения изделий из металлов и сплавов.
4 Сущность процесса упрочнения и его схема.
5 Контроль эффективности.

Контрольные вопросы

1 Методы упрочнения изделий из металлов и сплавов.
2 Сущность процесса вакуумного упрочнения.
3 Технологический процесс упрочнения.

4 Лабораторная работа № 4. Структура твердых сплавов после упрочняющей обработки

Цель работы: ознакомить студентов с основами технологии производства твердых сплавов методами порошковой металлургии, составом, строением и свойствами твердых сплавов с выявлением и изучением их микроструктуры.

4.1 Краткие теоретические сведения

Основы технологии производства твердых сплавов методами порошковой металлургии.

Производство металлокерамических твердых сплавов относится к области порошковой металлургии. Порошковой металлургией называется метод получения различных материалов изделий из металлических порошков или из смеси металлических и неметаллических порошков путем их компактирования (прессования) и последующего спекания. Основоположником рассматриваемого метода является русский ученый П. Г. Соболевский, который в 1826 г. получил макеты из платины прессованием порошка платины в холодном состоянии с последующим спеканием заготовок. Технологический процесс изготовления изделий из порошков состоит из трех основных операций:

1) получение порошков исходных материалов и приготовление из них порошковой шихты заданного химсостава;

2) компактирование (прессование) порошков в заготовки требуемой формы;

3) термическая обработка (спекание) заготовок для придания им необходимых механических свойств.

Металлические порошки исходных материалов обычно состоят из большого количества мелких частиц металла или сплава и могут быть получены механическими, химическими или физико-химическими методами. К механическим методам получения порошков относятся измельчение металлов или сплавов в мельницах и распыление металлов или сплавов в жидком состоянии.

К химическим и физико-химическим методам получения порошков относятся восстановление окислов металлов, электролиз и др. Компактирование (прессование) порошков – это процесс получения из сыпучего порошка прессовки (брикета), относительно непрочного и отличающегося по форме и размерам от готового изделия на величину усадки и припуска, если требуется, на механическую обработку, материала. Прессование порошков состоит из нескольких этапов:

1) приготовление шихты;

2) дозировка и засыпка шихты в прессформу;

3) прессование и выпрессовывание заготовок.

Для приготовления шихты порошки очищаются, просеиваются или разделяются воздушной сепарацией с тем, чтобы они имели одинаковую величину зерен. Затем подобранные по химсоставу и величине зерен порошки тщательно перемешиваются в шаровых мельницах или специальных смесителях до получения однородной массы. Холодное прессование приготовленной шихты выполняется в основном в прессформах на гидравлических или эксцентриковых прессах. Механические свойства заготовок, полученных холодным прессованием, низкие. Для повышения прочности, придания изделиям нужных физических и химических свойств после прессования производится термическая обработка заготовок, т. е. спекание. Для этого они нагреваются до температуры, составляющей примерно 0,6…0,9 абсолютной температуры плавления данного сплава, и выдерживаются при этой температуре определенное время. В процессе спекания за счет большой подвижности атомов при повышенной температуре увеличивается поверхность сцепления частиц, изменяются их формы и размеры, возникают металлические контакты, происходит объединение частиц порошка в единое целое. Все это приводит к тому, что заготовка сжимается, пористость ее уменьшается, повышается прочность изделия, изменяются физические и химические свойства. Спекание заготовок производится в печах различной конструкции: в электропечах сопротивления, в индукционных печах, в печах периодического и непрерывного действия, в среде защитных газов (водород, аммиак и др.) или в вакууме с целью уменьшения склонности порошков к окислению при термообработке.

Состав, строение и свойства твердых сплавов.

В зависимости от химического состава металлокерамические твердые сплавы разделяются на четыре основные группы. Сплавы первой группы изготавливают на основе карбидов вольфрама и кобальта. Они носят название вольфрамокобальтовых однокарбидных. Это сплав группы ВК. Ко второй группе относятся сплавы, полученные на основе карбидов вольфрама, титана и связующего металла – кобальта. Это двухкарбидные титановольфрамокобальтовые сплавы группы ТК. Третья группа сплавов состоит из карбидов вольфрама, титана, тантала и связующего металла – кобальта. Это трехкарбидные титановольфрамокобальтовые твердые сплавы группы ТТК. Четвертая группа – безвольфрамовые твердые сплавы.

В зависимости от состава карбидной фазы и связки обозначение твердых сплавов включает буквы, характеризующие карбидообразующие элементы (В – вольфрам, Т – титан, вторая буква Т – тантал) и связку (буква К – кобальт). Массовые доли элементов выражаются в процентном отношении, сумма которых составляет 100 %. Например, марка ВК8 (однокарбидный сплав) содержит 8 % кобальта и 92 % карбидов вольфрама (WC); марка Т5К10 (двухкарбидный сплав) содержит 5 % карбидов титана (TiC), 10 % кобальта (Со) и 85 % карбидов вольфрама (WC); марка ТТ8К6 (трехкарбидный сплав) содержит 6 % кобальта, 85 % карбидов титана и тантала (около 4 %), 86 % карбидов вольфрама.

К однокарбидным сплавам группы ВК относятся сплавы ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15 и др. Эти твердые сплавы применяются при обработке чугуна, цветных металлов и неметаллических материалов. При выборе марки твердого сплава необходимо учитывать содержание кобальта, которое определяет прочность сплава.

Из однокарбидных твердых сплавов ВК15, ВК10, ВК8 являются наиболее вязкими и прочными, хорошо противостоят ударам и вибрациям, а сплавы ВК2, ВК3 обладают наиболее высокой износостойкостью и твердостью при малой вязкости, слабо сопротивляются ударам и вибрациям. Сплав ВК8 применяется для черновой обработки при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, а сплав ВК2 – для чистовой отделочной при непрерывном резании с равномерным сечением среза. Для получистовых работ и черновой обработки с относительно равномерным сечением срезаемого слоя применяются сплавы ВК4, ВК6. При обработке резанием специальных труднообрабатываемых сталей используются сплавы ВК10 и ВК15.

Режущие свойства и качество твердосплавного инструмента определяются не только химическим составом сплава, но и его структурой, т. е. величиной зерна. С увеличением размеров зерен карбида вольфрама прочность сплава возрастает, а износостойкость уменьшается, и наоборот. В зависимости от размеров зерен карбидной фазы сплавы могут быть мелкозернистые, у которых не менее 50 % зерен карбидных фаз имеют размер 1мкм, среднезернистые – с величиной зерна 1…2 мкм и крупнозернистые – с величиной зерна 2…5 мкм. Для обозначения мелкозернистой структуры в конце марки сплава ставится буква М, а для крупнозернистой структуры – буква В. Буквы ОМ указывают на особо мелкую структуру сплава. Буква В после цифры указывает на то, что изделия из твердого сплава спекаются в атмосфере водорода. В производстве используются особомелкозернистые сплавы ВК6ОМ, ВК10ОМ, ВК15ОМ. Сплав ВК6ОМ используется при тонкой обработке нержавеющих и жаропрочных сталей, высокотвердых чугунов и алюминиевых сплавов. Сплав ВК10ОМ используется для черновой, получерновой, а сплав ВК15ОМ – для особо тяжелой обработки нержавеющих сталей, а также сплавов вольфрама, молибдена, титана, никеля. Мелкозернистые сплавы, как ВК6М, используют для чистовой обработки при тонких сечениях среза стальных, чугунных, пластмассовых деталей. Крупнозернистые сплавы ВК4В, ВК8В применяют при резании с ударами для черновой обработки жаропрочных и нержавеющих сталей с большими сече-

ниями среза. Физико-механические свойства и области применения некоторых марок однокарбидного твердого сплава ВК приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные физико-механические свойства и области применения твердых сплавов группы ВК

Марка сплава	$О_н$, МПа, не менее	ρ, г/см^3	HRA, не менее	Область применения
1	2	3	4	5
Вольфрамовая группа				
ВК3	1176	15,0…15,3	89,5	Чистовая и окончательная обработка (точение, нарезание резьбы, размерная обработка отверстий и др.) серого чугуна, цветных металлов и сплавов и неметаллических материалов
ВК3М	1176	15,0…15,3	91,0	Чистовая обработка (точение, растачивание, нарезание резьбы, развертывание) твердых, легированных и отбеленных чугунов, цементированных закаленных сталей
ВК4	1519	14,9…15,2	89,5	Черновая обработка при неравномерном сечении среза (точение, фрезерование, растачивание, рассверливание, зенкерование) при обработке чугуна, цветных металлов и сплавов, титана и его сплавов
ВК6	1519	14,6…15,0	88,5	Черновая и получистовая обработка (точение, нарезание резьбы резцами, фрезерование, рассверливание и растачивание, зенкерование отверстий) серого чугуна, цветных металлов и их сплавов
ВК6-М	1421	14,8…15,1	90,0	Получистовая обработка жаропрочных сталей аустенитного класса, твердых чугунов, закаленных чугунов, твердой бронзы, сплавов легких металлов, обработка закаленных сталей, а также сырых углеродистых и легированных сталей при тонких сечениях среза на весьма малых скоростях резания
ВК6-ОМ	1274	14,7…15,0	90,5	Чистовая и получистовая обработка твердых, легированных и отбеленных чугунов, закаленных сталей, высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов на основе титана, вольфрама и молибдена (точение, растачивание, нарезание резьбы, шабровка)
ВК8	1666	14,4…14,8	87,5	Черновая обработка при неравномерном сечении среза и прерывистом резании серого чугуна, цветных металлов и их сплавов, коррозионно-стойких, высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, титановых сплавов (точение, строгание, фрезерование, сверление, зенкерование)

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5
ВК10-ОМ	1470	14,3…14,6	88,5	Черновая и получистовая обработка твердых, легированных и отбеленных чугунов, коррозионно-стойких, высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, особенно сплавов на основе титана, вольфрама и молибдена. Изготовление монолитного инструмента
ВК10-М	1617	14,3…14,6	88,0	Обработка стали, чугуна, некоторых марок труднообрабатываемых материалов и неметаллов цельнотвердосплавным мелкоразмерным инструментом (сверление, зенкерование, развертывание, фрезерование, зубофрезерование)
ВК10-ХОМ ВК15-ХОМ	1500 1650	14,3…14,6 13,8	89,0 87,5	Получистовая и чистовая обработка жаропрочных сталей и сплавов, преимущественно точением

Двухкарбидные твердые сплавы группы ТК состоят из зерен твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана и избыточных зерен карбида вольфрама, сцементированных кобальтом. Это сплавы Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12. В марке сплава цифра после буквы К показывает процентное содержание кобальта, а после буквы Т – процентное содержание карбидов титана, остальное – карбиды вольфрама. Например, сплав Т15К6 содержит 6 % кобальта, 15 % – карбидов титана и остальное – карбиды вольфрама. Буква В в конце марки сплава означает, что сплав имеет крупнозернистую структуру. Сплав Т30К4 характеризуется высокой красностойкостью и износостойкостью, но является наименее прочным и вязким, поэтому он используется для чистового точения при непрерывном резании с малыми сечениями среза. Сплав Т15К6 обладает достаточно высокой красностойкостью и износостойкостью с удовлетворительной прочностью, поэтому он в основном используется для обработки сталей.

Сплав Т14К8 обладает почти такими же свойствами, что и Т15К6, поэтому и область его применения та же, что для Т15К6, но кроме того, он используется для черновой обработки при неравномерном сечении и непрерывном резании. Сплавы Т5К10 и Т5К12 являются наиболее вязкими, прочными и наименее красностойкими, поэтому они используются при работе с ударными нагрузками для обтачивания стальных отливок и поковок по корке. Физико-механические свойства и области применения некоторых марок двухкарбидных твердых сплавов группы ТК приведены в таблице 4.2.

Сплавы группы ТТК состоят из зерен твердого раствора карбида титана, карбида тантала, карбида вольфрама и избыточных зерен карбида вольфрама, сцементированных кобальтом. К трехкарбидной группе ТТК относятся сплавы ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8Б, ТТ20К9 и др. Сплав ТТ7К12 состоит из 12 % кобальта, 3 % карбида тантала, 4 % карбида титана и 81 % карбида вольфрама. Этот сплав обладает повышенной прочностью и несколько сниженной красно-

стойкостью и используется для тяжелых условий при обточке по корке и работе с ударами, а также для обработки специальных легированных сталей. Сплав ТТ8К6 применяют для чистовой и получистовой обработки чугуна, для непрерывной обработки с малыми сечениями среза стального литья, нержавеющих сталей, сплавов цветных металлов, некоторых марок титановых сплавов. Физико-механические свойства и области применения некоторых марок трехкарбидных твердых сплавов группы ТТК приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Основные физико-механические свойства и области применения твердых сплавов группы ТК

Марка сплава	$О_н$, МПа, не менее	ρ, г/см^3	HRA, не менее	Область применения
Т30К4	980	9,5…9,8	92,0	Чистовая обработка незакаленных и закаленных углеродистых сталей (точение, нарезание резьбы, развертывание)
Т15К6	1176	11,1…11,6	90,0	Получистовое точение (непрерывное резание). Чистовое точение (прерывистое резание), нарезание резьбы резцами и вращающимися головками, получистовое и чистовое фрезерование сплошных поверхностей, растачивание, чистовое зенкерование, развертывание при обработке углеродистых и легированных сталей
Т14К8	1274	11,2…11,6	89,5	То же, что для сплава Т15К6, а также черновая обработка при неравномерном сечении и непрерывном резании
Т5К10	1421	12,4…13,1	88,5	Черновое точение и фрезерование при неравномерном сечении и прерывистом резании, фасонное точение, отрезка резцами, чистовое строгание и другие виды обработки углеродистых и легированных сталей, преимущественно в виде поковок, штамповок и отливок по корке и окалине
Т5К12	1666	13,1…13,5	87,0	Тяжелое черновое точение при неравномерном сечении стальных поковок, штамповок и отливок по корке с раковинами при наличии песка, шлака и др.; все виды строгания, сверления углеродистых и легированных сталей

С целью экономии вольфрама созданы безвольфрамовые металлокерамические твердые сплавы на основе карбида (TiC) и карбонитрида (TiN) титана, сцементированных никелемолибденовой связкой. Эти сплавы по своим характеристикам примерно равноценны стандартным сплавам группы ТК, но имеют меньшую прочность на изгиб, выше твердость и обладают низкой схватываемостью со сталями. Инструменты из этих сплавов работают по сталям практически без наростообразования, что и предопределяет область их применения (чистовое и получистовое точение и фрезерование малолегированных,

углеродистых сталей, чугуна и цветных металлов). Износостойкость безвольфрамовых сплавов в 1,2–5 раза выше, чем у сплавов группы ТК. Основной недостаток этих сплавов – плохо подаются пайке и заточке вследствие неудовлетворительных термических свойств и поэтому применяются в основном в виде неперетачиваемых пластин. Основные физико-механические свойства и область применения безвольфрамовых твердых сплавов приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.3 – Основные физико-механические свойства и области применения твердых сплавов группы ТТК

Марка сплава	$О_н$, МПа, не менее	ρ, г/см^3	HRA, не менее	Область применения
ТТК12	1666	13,0…13,3	87,0	То же, что для сплава Т5К12, за исключением сверления стали. Тяжелое черновое фрезерование углеродистых и легированных сталей
ТТ8К6	1323	12,8…13,3	90,5	Чистовое и получистовое точение, растачивание, фрезерование и сверление серого, ковкого и отбеленного чугунов. Непрерывное точение с небольшими сечениями среза стального литья, высокопрочных коррозионностойких сталей, в том числе и закаленных. Обработка сплавов цветных металлов и некоторых марок титановых сплавов при резании с малыми и средними сечениями среза
ТТ20К9	1470	12,0…12,5	91,0	Фрезерование стали, особенно глубоких пазов, и другие виды обработки, обуславливающие повышенные требования к сопротивлению сплава тепловым и механическим циклическим нагрузкам
ТТ10К8-Б	1617	13,5…13,8	89,0	Черновая и получистовая обработка коррозионно-стойких сталей аустенитного класса, маломагнитных сталей, жаропрочных сталей и сплавов, титановых сплавов

Таблица 4.4 – Основные физико-механические свойства и область применения безвольфрамовых твердых сплавов

Марка сплава	$О_н$, МПа, не менее	ρ, г/см^3	HRA, не менее	Область применения
ТН-20*	1050	90,0	5,50…6,00	Получистовое и чистовое точение и фрезерование углеродистых и легированных сталей с HRC, 30…42, хромистых и коррозионно-стойких сталей с $\sigma_в$ = 600…800 МПа, жаропрочных сталей с $\sigma_в$ = 600…800 МПа
КТН-16*	1200	89,0	5,50…6,00	
КТН-20**	1550	90,0	6,17	
КТН-30**	1700	88,5	6,40	

4.2 Задание

Изучить микроструктуру твердых сплавов; определить твердость сплавов.

4.3 Перечень используемого оборудования

1 Образцы из спеченных твердых сплавов группы ВК, ТК или ТТК (марка материала задается преподавателем).
2 Травители.
3 Спирт этиловый.
4 Фильтрованная бумага.
5 Шлифовальная бумага.
6 Алмазная паста различной зернистости (от 7/5 до 1/0).
7 Плотная бумага (ватман или засвеченная фотобумага).
8 Шлифовально-полировальный станок.
9 Заточный станок.
10 Металлографический микроскоп.
11 Твердомер ТК-2М.
12 Алмазный круг.
13 Муфельная лабораторная печь.
14 Струбцина для шлифов.

4.4 Порядок проведения работы

Методика приготовления металлографических шлифов из спеченных твердых сплавов.

Шлиф приготовляется из отобранных образцов по поперечному сечению (излому) целого изделия или части его площадью не более 2 см^2.

Закрепить образец в струбцину и вывести плоскости образца и струбцины заподлицо друг с другом на заточном станке.

Шлифовать подготовленную плоскость на шлифовальном станке с помощью шлифовальной бумаги, начиная с крупной и заканчивая на малой зерни-

стости. При каждом переходе от одного номера бумаги к другой образец поворачивать на 90 °.

Полировать шлиф на алмазной пасте, нанесенной на бумажный круг станка.

Во избежание выкрашивания структурных составляющих необходимо оказывать давление на образцы приблизительно 0,6…0,8 Па.

Каждая операция шлифования и полирования проводится до исчезновения на поверхности шлифа следов предыдущей операции.

Необходимо следить за тем, чтобы образцы при полировании и шлифовании не нагревались.

Поверхность шлифа должна быть зеркальной, не иметь рисок, царапин.

Качество подготовки проверяется под микроскопом при увеличении в 100 раз.

Выявление фазы типа η (сложные карбиды, состоящие из вольфрама и металлов связующей фазы).

Травить шлиф в травителе состава – 20-процентный водный раствор железосинеродистого калия и гидроокиси калия (или гидроокиси натрия) в равных объемах. Температура – 18 °С…20 °С. Продолжительность – 2…3 с – фаза окрашивается в красновато-оранжевый цвет и окаймляется по границам. Сушить шлиф на фильтровальной бумаге.

Под металлографическим микроскопом при 100-кратном увеличении рассмотреть протравленный шлиф и отметить наличие, характер распределителя и форму включения фазы η. Эта фаза в форме «кружев», «озерков» может распределяться по периферии, центру или по границам раздела фаз.

Выявление β-фазы – связка Со или Ni.

Под микроскопом при увеличении в 1250 раз просмотреть шлиф в различных участках и отметить равномерное или неравномерное распределение фазы (β-фаза видится темной).

Выявление и оценка размера зерна α-фазы (карбида вольфрама) в сплавах ВК.

Травить шлиф в травителе – насыщенный раствор хлорного железа в концентрированной серной кислоте при 18 °С…20 °С, продолжительность 20…30 с. Промыть водой, а затем протравить в свежеприготовленном растворе – смеси 20-процентного водного раствора железосинеродистого калия и гидроокиси натрия в равных объемах при температуре 18 °С…20 °С в течение 2…3 мин.

Под микроскопом при увеличении в 500 раз изучить шлиф и отметить характер распределения и форму, размер (мелкий, средний или крупный). Сравнить структуру с фотографиями плаката (α-фаза видна на черном фоне β-фазы в виде светлых зерен); фаза четко окаймляется по границам зерен, сохраняя естественную голубоватую окраску.

Выявление α-фазы в сплавах группы ТК и ТТК.

Нагреть шлиф в муфельной печи при 450 °С…500 °С в течение 15 мин до появления на шлифе желтой пленки.

Изучить шлиф под микроскопом и сравнить наблюдаемую структуру с фотографиями (α-фаза здесь остается светлой, п-фаза окрашивается в оранжевый

цвет, β-фаза окаймляется по границам и окрашивается в зеленоватый или темно-коричневый цвет).

Определить твердость сплава на приборе Роквелла (ТК-2М).

Содержание отчета

1 Цель работы.
2 Методика приготовления шлифов.
3 Основы порошковой металлургии.
4 Состав, строение и свойства твердых сплавов.
5 Выявление и изучение микроструктур твердых сплавов.

Контрольные вопросы

1 Технологический процесс изготовления изделий из порошков.
2 Методы получения металлических порошков.
3 Что означает компактирование?
4 Свойства твердых сплавов.

Список литературы

1 **Адаскин, А. М.** Инструментальные материалы в машиностроении: учебник / А. М. Адаскин. – М. : ИНФРА-М, 2015. – 320 с.

2 **Адаскин, А. М.** Материаловедение и технология металлических, неметаллических и композиционных материалов : учеб. пособие / А. М. Адаскин, А. Н. Красновский. – М. : ФОРУМ; ИНФРА-М, 2020. – 400 с.

3 **Колесов, С. Н.** Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник / С. Н. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2007. – 535 с.

4 Материаловедение и технология металлов: учебник / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин [и др.]; под ред. Г. П. Фетисова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 862 с.

5 **Логвин, В. А.** Технологическое оборудование и инструментальные системы : учеб. пособие: в 2 ч. / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, С. А. Шептунов ; под ред. Ж. А. Мрочека. – Мн. : РИВШ, 2025. – Ч. 2. – 580 с.

6 Материаловедение в машиностроении : учебник для академ. бакалавриата: в 2 ч. / А. М. Адаскин, Ю. Е. Седов, А. К. Онегина, В. Н. Климов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2019. – Ч. 1. – 258 с.

7 Материаловедение в машиностроении : учебник для академ. бакалавриата: в 2 ч. / А. М. Адаскин, Ю. Е. Седов, А. К. Онегина, В. Н. Климов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2019. – Ч. 2. – 291 с.