

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

**СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ для студентов
направления 15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»)
всех форм обучения

Воронеж 2022

УДК 621.01 (07)
ББК 34.5я7

Составитель
д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин

Современные инструментальные материалы в машиностроении: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение» (профиль «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств») всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет; сост. С. Ю. Жачкин. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 19 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению лабораторных работ, рассматриваются вопросы обеспечения инструментальным материалом современных типовых конструкций металло-режущего инструмента. Приведены варианты работ для самостоятельного выполнения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ.ЛР.СИМВМ. pdf.

Ил. 5. Табл. 5. Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.01(07)
ББК 34.5 я7

Рецензент – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

Лабораторная работа № 1
КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

1. Теоретические сведения

Инструментальная сталь должна обладать высокой твердостью, износостойкостью, обеспечивающей сохранение режущей кромки инструмента, достаточной прочностью и вязкостью (для инструментов ударного действия).

Режущие кромки инструмента могут нагреваться до 500 – 900 °С. В этих случаях основным свойством инструментальных материалов является теплостойкость, т.е. способность сохранять высокую твердость и режущую способность при продолжительном нагреве.

Инструментальные стали могут классифицировать по назначению изготавливаемого из них инструмента:

- штамповые для холодного деформирования с твердостью HRC 55 – 64;
- штамповые стали для горячего деформирования с твердостью HRC 40 – 55;
- стали для режущих инструментов с твердостью HRC 62 – 68.
- стали для измерительного инструмента.

Инструментальные стали можно классифицировать на основе легирования:

- ✓ нелегированные;
- ✓ легированные;
- ✓ с добавками вольфрама и легированные хромом;
- ✓ быстрорежущие стали.

По теплостойкости инструментальные стали подразделяются на:

- нетеплостойкие;
- полутеплостойкие;
- теплостойкие.

Нетеплостойкие стали классифицируют по прокаливаемости:

- небольшой прокаливаемости;
- повышенной прокаливаемости;
- высокой прокаливаемости.

Инструментальные стали по свойствам делят на пять основных групп:

1. *Инструментальные стали, обладающие высокой твердостью, вязкостью, нетеплостойкие.* Они также отличаются невысокой прокаливаемостью. В эту группу входят нелегированные, со средним содержанием углерода, а так же низколегированные доэвтектоидные и эвтектоидные стали.

2. *Инструментальные стали, имеющие высокую твердость, нетеплостойкие.* Состав таких инструментальных сталей с заэвтектоидной структурой либо вообще не содержит легированных элементов, либо содержит их в незначительных количествах. Уровень твердости таких сплавов обеспечива-

ется большим количеством углерода в их составе.

3. Инструментальные стали с высокой твердостью, износостойкие, средней теплостойкости. Это, прежде всего ледебуритные и заэвтектоидные стали, включающие в себя от 5 до 12 % хрома, а так же 2 – 3 % углерода.

4. Инструментальные стали с высокой твердостью, износостойкие, теплостойкие. В эту группу входят ледебуритные стали, со средним и высоким содержанием углерода, высоколегированные молибденом, вольфрамом (в эту группу входят быстрорежущие стали).

5. Инструментальные стали, обладающие теплостойкостью и вязкостью. По твердости и прочности инструментальные стали незначительно отличаются друг от друга. Основное их отличие – различная теплостойкость.

Углеродистые инструментальные стали:

У7, У7А, У8, У8А, У8Г, У8ГА, У9, У9А, У10, У10А, У12, У12А.

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

Например:

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

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

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

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

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

Легированные инструментальные стали:

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

Для повышения тех или иных свойств углеродистых инструментальных сталей в их состав вводят легирующие элементы, которые обозначают буквами русского алфавита в марках сталей:

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

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

Например:

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

ХВСГ – среднелегированная инструментальная сталь, качественная, спокойная, содержит 1 % углерода, по 1 % хрома, вольфрама кремния и марганца. Легированные инструментальные стали применяются для инструмента, обрабатывающего материалы невысокой прочности с небольшой скоростью резания.

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

Быстрорежущие стали:

P9; P18; P6M5; P6M5Ф3; P12Ф3; P18K5Ф2; P9K5; P6M5K5, P9M4K8; P2AM9K5 и другие.

В настоящее время быстрорежущие стали – основной материал для изготовления режущих инструментов, несмотря на то, что инструменты из твердых сплавов, керамики и сверхтвердых материалов обеспечивают более высокую производительность обработки.

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

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

Например:

P6M5K5 – инструментальная быстрорежущая сталь, содержащая 6 % вольфрама, 5 % молибдена, 5 % кобальта.

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

По уровню теплостойкости и, соответственно, по применяемым скоростям резания, быстрорежущие стали классифицируют на стали нормальной производительности и стали повышенной производительности.

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

2. Индивидуальное задание

Расшифровать указанные марки инструментальных сталей, провести их классификацию (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Варианты заданий

Номер варианта	Марки сталей		
1	У7	13Х	Р6М5Ф3
2	У8А	9ХФ	Р12Ф3
3	У9	В2Ф	Р18К5Ф2
4	У10А	9ХВГ	Р9К5
5	У11	9ХС	Р6М5К5
6	У12А	7ХФ	Р9М4К8
7	У13	Х	Р2АМ9К5
8	У7А	11ХФ	Р18Ф2К8М
9	У8	ХВСГ	Р12Ф4К5
10	У9А	Х6ВФ	Р12М3Ф2К8
11	У10	9Х	Р8М3К6С
12	У11А	8ХФ	Р6М5К5

Лабораторно работа №2

МИКРОАНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

1. Теоретические сведения

Микроскопический анализ заключается в исследовании структуры металлов с помощью микроскопа. Наблюдаемая в микроскоп структура называется микроструктурой. При помощи микроанализа изучают фазовый состав и структурные составляющие металла или сплава; размер, форму и ориентировку зерен; наличие дефектов, снижающих качество металла (включения, микротрещины и др.).

Результатом микроанализа является заключение о характере обработки материала, о соответствии структуры техническим условиям, нарушении технологии и т.п.

Микроанализ включает две операции: приготовление микрошлифа и изучение его микроструктуры.

Микрошлиф представляет собой образец, вырезанный из готовой детали, заготовки или инструмента, специально подготовленный для исследования микроструктуры. Приготовление микрошлифа включает такие операции, как шлифование, полирование, травление.

Изучение микроструктуры металла лучше начинать с рассмотрения под микроскопом не протравленного шлифа. На светлом фоне будут видны неметаллические включения в виде темных, иногда окрашенных в другие цвета, участков.

Неметаллические включения в железоуглеродистых сплавах (сталь, чугун) представлены на рис. 2.1.

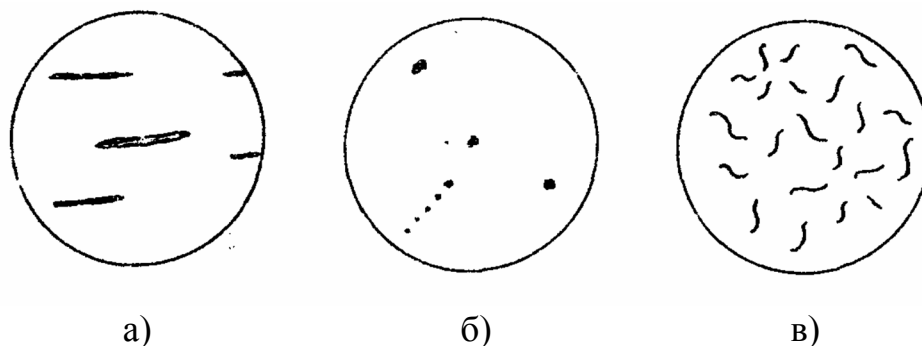


Рис. 2.1. Неметаллические включения в железоуглеродистых сплавах:
а) - включения сульфидов железа FeS в виде оторочек по границам зерна;
б) - включения хрупких оксидов;
в) - включения графита в чугуне

Изучив чистоту металла или форму включений графита в чугуне, микрошлиф травят и вновь исследуют под микроскопом – теперь уже выявленную микроструктуру. Определяют количество структурных составляющих, их размер, форму, цвет, характер расположения, однородность.

Структурная составляющая – это часть структуры, видимая под микроскопом как однородная. Она может быть одно- и двухфазной, т.е. представлять собой механическую смесь двух фаз.

Инструментальные стали по структуре можно отнести к следующим трем группам:

- 1) ледебуритная сталь – к ней относятся все марки быстрорежущей стали и марки X12, X12M и XB5;
- 2) заэвтектоидная и эвтектоидная сталь – к ней относится большая часть марок легированной инструментальной стали, а также марки углеродистой инструментальной стали У8У13;
- 3) доэвтектоидная сталь – к ней относится марка У7 (углеродистая инструментальная сталь) и марки легированной инструментальной стали, применяемые для штампов: 5ХНМ, 5ХГМ, 4ХС, 4ХВС, 5ХВС, 5ХВГ.

В микроструктуре высоколегированных инструментальных сталей (содержание легирующих элементов >10 %) после отжига присутствуют мелкодисперсные карбиды M_6C . Микроструктура низколегированных сталей и углеродистых – перлит и карбиды (рис. 2.2).

В микроструктуре сталей после закалке присутствуют мартенсит и первичные карбиды (рис. 2.3).

Микроструктура сталей после закалки отпуска (9ХС; У7; У12; X12 –

низкий, P18 – высокий) – мартенсит отпуска, остаточный аустенит и карбиды (рис. 2.4).

2. Индивидуальное задание

Получить образцы сталей, записать их марку и химический состав.

3. Изучить микроструктуру протравленных образцов, зарисовать и описать ее (отдельные структурные составляющие указать стрелками, а справа от микроструктуры дать описание видимого в микроскоп изображения).

Контрольные вопросы

1. Что такое микроанализ, микроструктура, микрошлиф?
2. Перечислите основные операции приготовления микрошлифа.
3. Что такое структурная составляющая?
4. Структура инструментальных сталей в отожженном состоянии.
5. Структура инструментальных сталей после закалки и отпуска.
6. Остаточный аустенит и его влияние на свойства.

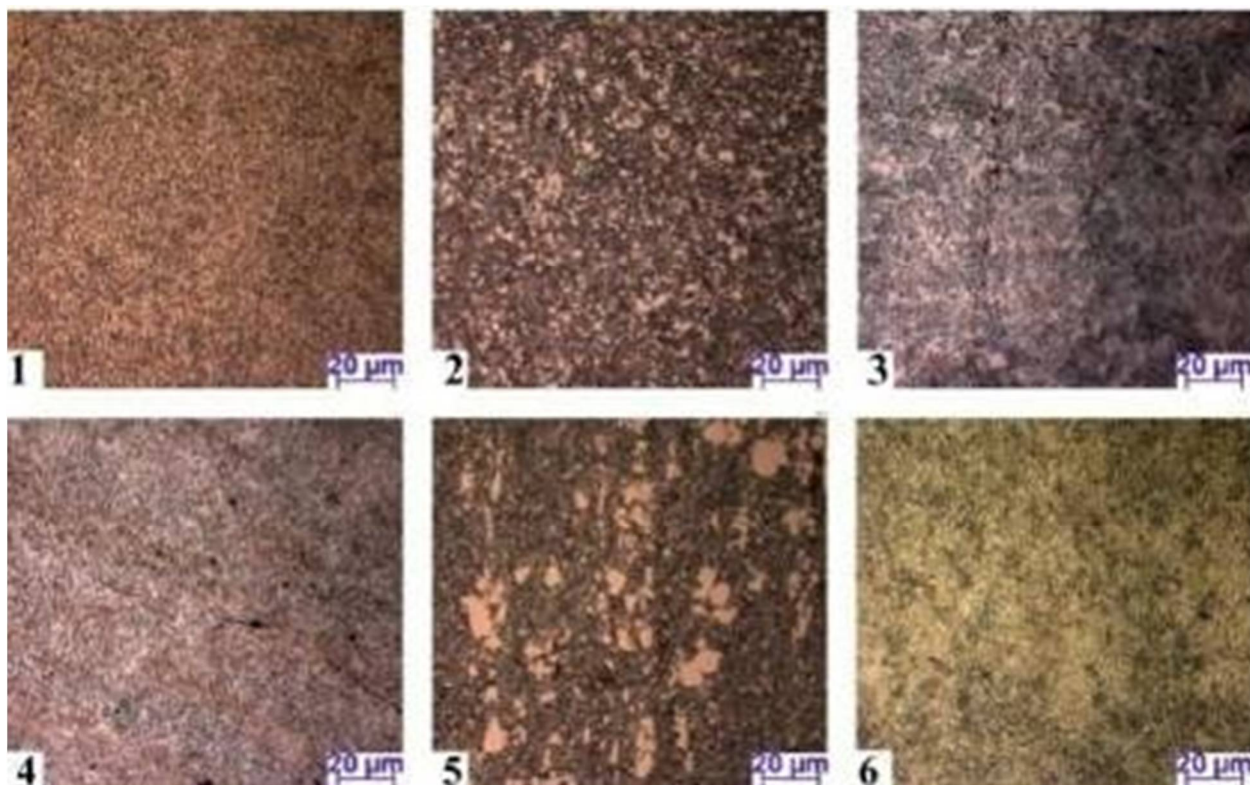


Рис. 2.2. Микроструктуры инструментальных сталей после отжига:
1 – 9ХС; 2 – P18; 3 – У7; 4 – У12; 5 – Х12; 6 – 3Х3М3Ф
(увеличено в 500 раз)

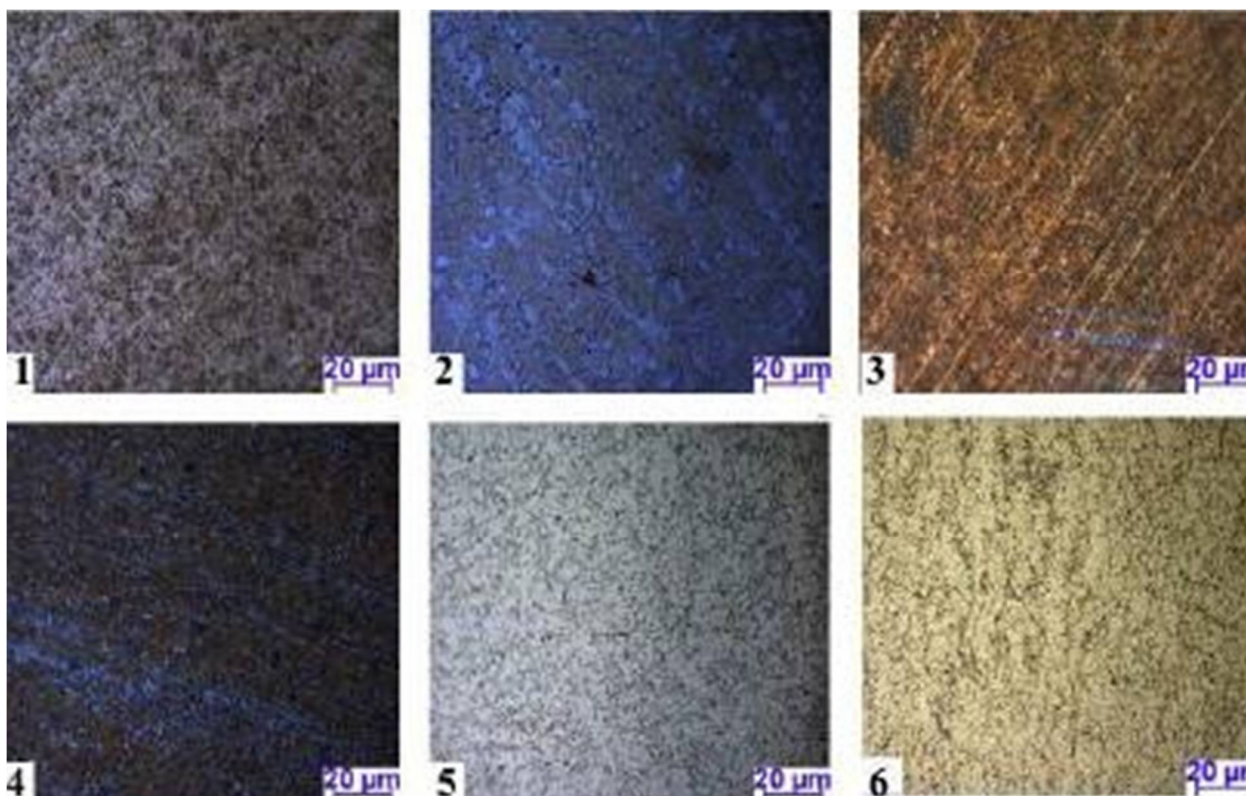


Рис. 2.3. Микроструктуры инструментальных сталей после закалки: 1 – 9ХС; 2 – P18; 3 – У7; 4 – У12; 5 – Х12; 6 – 3Х3М3Ф (увеличено в 500 раз)

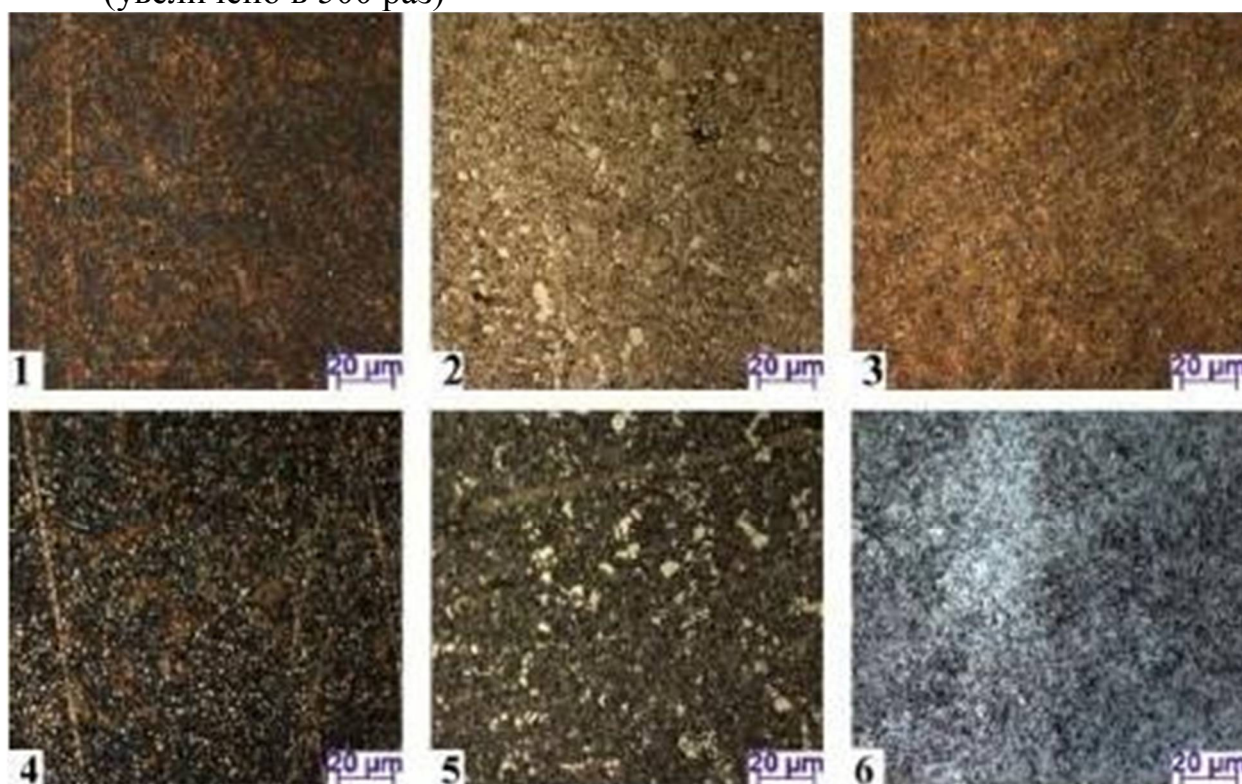


Рис. 2.4. Микроструктуры инструментальных сталей после закалки и последующего отпуска:

1 – 9ХС; 2 – P18; 3 – У7; 4 – У12; 5 – Х12; 6 – 3Х3М3Ф
(увеличено в 500 раз)

Лабораторная работа № 3
ОСНОВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

1. Теоретические сведения

Для того чтобы получить оптимальную структуру и требуемую твердость, перед началом производства инструмента эти сплавы подвергают предварительной термической обработке – отжигу.

Отжиг – это процесс нагрева стали до заданной температуры, выдержки и медленного охлаждения (с печью).

Отжигом достигаются следующие цели:

- снятие внутренних напряжений;
- получение минимальной твердости;
- исправление структуры перегретой (крупнозернистой) стали;
- устранение дендритной ликвации (химической неоднородности) в пределах каждого зерна.

При этом для инструментальных сталей с заэвтектоидной структурой выполняется отжиг сферодизирующего типа. Проводимая по такой технологии термообработка приводит к появлению цементита зернистой формы. Получить зерна требуемого размера позволяет скорость охлаждения, которую можно регулировать.

В результате отжига получают мелкозернистую равновесную структуру с хорошей обрабатываемостью, но низкой прочностью.

Для некоторых видов инструментальных сталей в качестве предварительной термической обработки может применяться высокий отпуск.

После того, как инструмент будет изготовлен, инструментальная сталь подвергается закалке и последующему отпуску.

Закалка – это термическая обработка, состоящая в нагреве стали выше критической точки A_{c3} или A_{c1} , выдержке до полного образования аустенита и последующем быстром охлаждении со скоростью выше критической.

Закалка обеспечивает повышение твердости за счет получения оптимальной структуры стали: карбиды с мартенситом (неполная закалка) или только мартенсит (полная закалка). Закаленная сталь обладает высокой твердостью, прочностью и пониженной вязкостью (хрупкостью). Окончательная твердость готового инструмента достигается путем проведения операции отпуска.

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

Применяются три вида отпуска.

Низкий отпуск проводят при температуре 150 – 200 °С с получением структуры мартенсит отпуска M_o (58 – 60HRC).

Средний отпуск проводят при температуре 350 – 450 °С на структуру троостит отпуска T_0 .

Высокий отпуск – при температуре 550 – 650 °С на структуру сорбит отпуска S_0 .

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

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

Режимы термической обработки инструментальных сталей выбираются по справочной литературе.

2. Индивидуальное задание

Согласно варианту задания (таблица 3.1) назначить режимы термической обработки стали предложенной марки, описать сущность происходящих превращений при термической обработке, микроструктуру и свойства материала, построить графики термической обработки.

Таблица 3.1

Варианты заданий

Номер варианта	Марки сталей		
	1	У7	13Х
2	У8А	9ХФ	Р12Ф3
3	У9	В2Ф	Р18К5Ф2
4	У10А	9ХВГ	Р9К5
5	У11	9ХС	Р6М5К5
6	У12А	7ХФ	Р9М4К8
7	У13	Х	Р2АМ9К5
8	У7А	11ХФ	Р18Ф2К8М
9	У8	ХВСГ	Р12Ф4К5
10	У9А	Х6ВФ	Р12М3Ф2К8
11	У10	9Х	Р8М3К6С
12	У11А	8ХФ	Р6М5К5

Лабораторная работа № 4

ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

1. Теоретические сведения

Для изготовления режущего инструмента применяют углеродистые легированные и быстрорежущие стали, а также металлокерамические твердые сплавы. Они должны иметь высокую твердость (более 60 HRC), износостойкость и теплостойкость.

Теплостойкость – это способность стали сохранять твердость (режущие свойства) при нагреве, то есть устойчивость против отпуска при нагреве инструмента в процессе работы. В процессе резания режущая кромка разогревается (чем больше скорость резания, тем выше температура разогрева) и инструмент «отпускается» – теряет твердость.

Теплостойкость зависит от устойчивости мартенситной структуры, полученной при закалке стали. В углеродистых и низколегированных сталях мартенсит неустойчив. Мартенситная структура и высокая твердость в этих сталях сохраняется при нагреве до 200 - 250

°С. При более высоком нагреве мартенсит распадается на ферритно-цементитную (карбидную) смесь.

Выделившиеся из мартенсита карбиды коагулируют (укрупняются) и твердость стали резко падает. В высоколегированных сталях (например, быстрорежущих), легированных карбидообразующими элементами (хром, вольфрам, молибден и др.), можно получить высоколегированный мартенсит, устойчивый к нагреву.

Быстрорежущие стали относятся к ледебуритному (карбидному) классу. В отожженном состоянии структура этих сталей перлит и избыточные карбиды легирующих элементов. Теплостойкой сталь становится после специальной термической обработки (закалки и отпуска). Структура стали после закалки – мартенсит высоколегированный, избыточные карбиды и остаточный аустенит. Отпуск после закалки производят при 500 - 560 °С для снятия закалочных напряжений и перевода аустенита остаточного в мартенсит. Быстрорежущая сталь теплостойка, так как полученный при закалке высоколегированный мартенсит устойчив при нагреве до 550 - 650 °С. Распад такого мартенсита происходит при более высокой температуре, а выделившиеся из него карбиды (не цементит) дисперсны и коагулируют при температуре выше 600 °С. Поэтому быстрорежущие стали предназначены для работы инструмента с повышенными скоростями резания.

По теплостойкости все инструментальные стали подразделяют на три группы: не обладающие теплостойкостью (сохраняют твердость при нагреве до 200 - 250 °С), полутеплостойкие (до 400 – 450 °С) и теплостойкие (до 550 - 650 °С).

Итак, твердость инструментальных сталей зависит от содержания углерода и термообработки (на мартенсит); а теплостойкость – от наличия легирующих элементов (в основном карбидообразующих) и термообработки на структуру высоколегированного мартенсита.

Теплостойкость определяют экспериментально двумя способами.

Первый способ заключается в нагреве закаленной стали до различных температур (100, 200 ... °С) в течение 4-х часов и охлаждении ее на спокойном воздухе. После термообработки измеряют твердость HRC образцов и строят кривую зависимости твердости от температуры нагрева, как показано на рисунке 4.1.

При нагреве допускается снижение твердости инструмента до 59HRC. Для определения группы стали по теплостойкости на ординате твердости

находят значение 69 HRC, проводят линию, параллельную оси абсцисс. Из точки пересечения линии с экспериментальной кривой (точка а, рис. 4.1) опускают перпендикуляр.

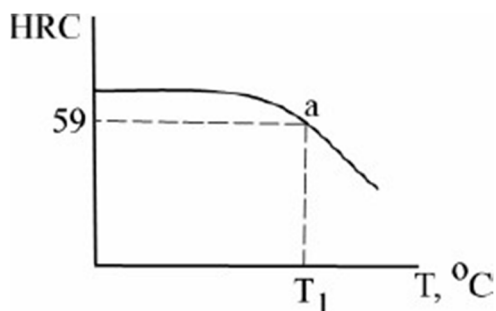


Рис. 4.1. График зависимости твердости закаленной инструментальной стали от температуры нагрева

На оси температур находят значение T_1 . По температуре T_1 определяют группу стали по теплостойкости.

Второй способ позволяет отделить теплостойкие стали от других путем кратковременного испытания. Закаленную сталь нагревают в течение 20 минут при температуре 675 °С, а затем охлаждают на спокойном воздухе и измеряют твердость. Если после такого нагрева твердость стали равна или превышает 59 HRC, сталь теплостойка.

2. Индивидуальное задание

Получить образцы, подвергнутые закалке и последующему отпуску (температура нагрева – 100, 200, 250, 350, 550, 700 °С; время нагрева и выдержки – 1 час; охлаждение – на спокойном воздухе).

Записать марку, химический состав стали (табл. 4.1).

Измерить твердость всех образцов на твердомере Роквелла по шкале С (по 2-3 накола на каждом образце); записать полученные значения в табл. 4.2.

Таблица 4.1

Марка стали и химический состав

Сталь	Марка стали	Химический состав (основные элементы)					
		С	Cr	W	V	Mo	другие
Углеродистая							
Легированная							
Быстрорежущая							

Твердость образцов после отпуска

Сталь	Марка стали	Твердость HRC до нагрева	Твердость HRC после нагрева до температур, °С					
			100	200	250	350	550	700
Углеродистая								
Легированная								
Быстрорежущая								

Построить графики зависимости твердости стали от температуры нагрева (три кривые на одном графике), определить для каждой марки стали температуру T_1 (59 HRC) и группу стали по теплостойкости.

Лабораторная работа № 5 СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

1. Теоретические сведения

К способам улучшения поверхностного слоя инструментальных сталей относятся следующие виды обработки: цианирование; сульфидирование; азотирование; цементация; хромирование; электролитическое (гальваническое) покрытие; борирование; обработка паром; осаждение карбидов титана; наплавка.

Рассмотрим некоторые из этих процессов, относящихся к технологии химико-термической обработки сплавов.

Цементация – это диффузионное насыщение поверхности стали углеродом с целью повышения твердости, износостойкости, контактной прочности, усталостной прочности при сохранении относительно мягкой и вязкой сердцевины.

Этот процесс проводится при температурах выше точки A_{c3} (930 – 950 °С), когда аустенит находится в устойчивом состоянии и растворяет углерод в больших количествах. В качестве карбюризатора применяют природный газ, керосин, пиробензол, древесный уголь и другие богатые углеродом вещества.

Время выдержки в процессе насыщения поверхности стали углеродом зависит от того, диффузионный слой, какой глубины необходимо получить. В обычных камерных или шахтных печах образуется за один час приблизительно 0,1 мм слоя.

Следует иметь в виду, что цементация обеспечивает только благоприятное распределение углерода по сечению детали, а окончательные свойства сталь приобретает после термической обработки – закалки и низкого отпуска.

После закалки в поверхностном насыщенном углеродом слое получают структуру мартенсит или мартенсит с избыточными карбидами. Так как мартенсит высокоуглеродистый, твердость его не менее 60 HRC. В сердцевине, содержащей мало углерода, структура будет зависеть от температуры закал-

ки.

Азотирование – это процесс ХТО, заключающийся в насыщении поверхностного слоя азотом с целью получения в нем нитридов железа и легирующих металлов для повышения износостойкости, усталостной стойкости, коррозионной стойкости и теплоустойчивости.

В настоящее время азотирование является одним из эффективных и распространенных методов упрочнения в различных отраслях машиностроения. Среди достоинств необходимо отметить высокую твердость (до 1300 HV), которая достигается без закалки; незначительную по сравнению с другими методами упрочнения деформацию деталей; теплостойкость поверхностного слоя до 500 – 600 °С, высокую износостойкость, коррозионную стойкость (особенно в атмосфере); высокую усталостную выносливость. По микротвердости азотирование уступает только борированию, в то же время, превосходя цементацию и нитроцементацию (незначительно).

К недостаткам метода относятся большая длительность процесса насыщения (до 100 ч), необходимость применения специальных сталей, низкая по сравнению с цементованными деталями контактная прочность, хрупкость поверхностного слоя и пониженная вязкость азотированных деталей.

Азотирование заключается в насыщении поверхностного слоя азотом в среде диссоциированного аммиака при температурах от 500 °С до 1200 °С. В результате азотирования сталь приобретает на поверхности высокую твердость, не изменяющуюся при нагреве до 400–450 °С, низкую склонность к задирам, износостойкость, коррозионную стойкость.

Диффузия азота в поверхностный слой, так же как и диффузия углерода, проходит по механизму внедрения. Перемещение атомов азота в кристаллической решетке металла происходит под действием разницы концентраций, и в результате образуется твердый раствор внедрения азота в междоузлиях кристаллической решетки металла - растворителя. При достижении предельной концентрации азота в твердом растворе α - или γ -железа из него под действием реакционной диффузии начинают выделяться нитриды железа. Наивысшая поверхностная твердость азотированного слоя получается при насыщении в области существования α -железа. Поэтому температура азотирования часто находится в пределах от 480 до 580 °С.

Наличие в стали легирующих металлов с более активным, чем у железа, сродством к азоту приводит к образованию специальных нитридов этих элементов. Наиболее сильно повышает твердость азотированного слоя алюминий, молибден и хром, а титан, ванадий, вольфрам – в меньшей степени. Мелкодисперсные нитриды этих элементов повышают общую твердость поверхностного слоя и блокируют плоскости скольжения.

Детали перед азотированием подвергают термической обработке. Обычно применяют закалку и последующий высокий отпуск с температурой нагрева на 30–50 °С выше температуры последующего азотирования. Это позволяет сохранять полученную структуру сердцевины в процессе азотирования и избежать последующей термообработки.

Хромирование – это процесс диффузионного насыщения поверхност-

ного слоя детали хромом. Хромированию подвергаются изделия, работающие в условиях износа; под напряжением (или без него) при высоких и криогенных температурах в средах, вызывающих химическую или электрохимическую коррозию; на усталость – механическую, термическую и коррозионную.

Все технологии хромирования различаются по виду насыщающей среды – твердой, жидкой и газообразной.

Процесс протекает медленно, при проведении его в вакууме скорость насыщения увеличивается и предотвращается окисление изделия. Качество поверхности улучшается.

Если хромированию подвергают низкоуглеродистые стали, то на поверхности образуется твердый раствор хрома в железе и повышается коррозионная стойкость.

При хромировании средне- и высокоуглеродистых сталей на поверхности образуется слой карбидов хрома, таких как Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , так как одновременно протекают два процесса – диффузия хрома из карбюризатора и диффузия углерода из сердцевины к поверхности. При этом повышается не только коррозионная стойкость, но и твердость и износостойкость поверхности, твердость карбидов достигает 18000 МПа, под ним слой альфа-железа с примесью карбидов хрома, имеющий твердость порядка 4600 МПа. Толщина образующегося слоя 20 – 150 мкм.

Благодаря высокой концентрации (более 12 %) хрома диффузионный слой обладает хорошей сопротивляемостью коррозии в атмосфере (в том числе морской), перегретом паре, сернистых газах, органических кислотах, азотной кислоте, щелочах и других средах. Он также устойчив в жидких металлах (Pb, Zn, Al). В соляной и серной кислотах хромированный слой не устойчив.

Цианирование – насыщение поверхности стали азотом и углеродом в температурном диапазоне от 530 до 950 °С. Данная технология обработки повышает твердость, предел выносливости, износостойкость поверхности стального изделия. Принцип цианирования основан на диффузии в структуру материала углерода и азота.

Результат процесса определяется несколькими факторами: температурой нагрева, концентрацией азота и углерода, свойствами среды и материала.

Различают цианирование в твердых, жидких, газовых средах.

Для твердого цианирования применяют среды, содержащие цианистые соли. Твердое цианирование по производительности значительно уступает прочим видам, поэтому оно используется редко.

Жидкое цианирование является наиболее распространенным способом. Для него применяют расплавы, содержащие NaCl, NaCN, Na_2CO_3 , BaCl_2 , BaCO_2 в различных концентрациях и сочетаниях. Основным компонентом расплава является – CN. Повышение его содержания приводит к возрастанию концентрации азота и углерода в диффузионном слое. Жидкое цианирование служит в качестве окончательной обработки стали.

Цианирование в газовой среде называется нитроцементацией. Процесс

заключается в нагреве заготовки при 530 – 570°С на протяжении 1,5 – 3 ч. в газовой смеси, содержащей азот и углерод (например, смесь аммиака NH₃ и монооксида углерода СО). Химическое взаимодействие названных газов приводит к формированию атомарных азота и углерода. Они создают слой, толщина которого определяется температурой и длительностью и составляет от 0,02 до 0,004 мм. Его твердость может составлять 900 – 1200 НV.

2. Индивидуальное задание

Для указанных марок инструментальных сталей указать область применения, химический состав, выбрать способ улучшения поверхностного слоя, параметры процесса, вычертить графики термической и химико-термической обработки.

Таблица 5.1

Варианты заданий

Номер варианта	Марка стали, процесс	Марка стали, процесс
1	7Х3, азотирование	Р18, цианирование
2	5ХНМ, цианирование	Р9, азотирование
3	4ХМФС, азотирование	Р6М5, цианирование
4	8Х3, азотирование	Р18Ф2, цианирование
5	4Х5МФС, азотирование	Р6М5Ф3, цианирование
6	3Х3М3Ф, азотирование	Р9К5, цианирование
7	3Х2В8Ф, цианирование	Р12Ф3, азотирование
8	5ХНМ, азотирование	Р6М5К5, цианирование
9	4ХМФС, цианирование	Р6М5Ф3, азотирование
10	4Х5МФС, цианирование	Р6М5, азотирование
11	3Х3М3Ф, цианирование	Р18Ф2, азотирование
12	3Х2В8Ф, азотирование	Р9, цианирование

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грановский, Г. И. Резание металлов: учебник для машиностроения и приборостроения специальных вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
2. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент М54: справочник / В. С. Самойлов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: справочник / В. П. Жедь [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
4. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: справочник / В. И. Баранчиков [и др.]; под общ. ред. В. И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1	
Классификация и маркировка инструментальных сталей.....	3
Лабораторно работа №2	
Микроанализ инструментальных сталей.....	6
Лабораторная работа № 3	
Основы термической обработки инструментальных сталей.....	10
Лабораторная работа № 4	
Теплостойкость инструментальных сталей.....	11
Лабораторная работа № 5	
Способы улучшения поверхностного слоя инструментальных сталей.....	14
Библиографический список.....	17

**СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ для студентов
направления 15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»)
всех форм обучения

Составитель

Жачкин Сергей Юрьевич

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 26.05.2022.

Уч.-изд. л.0,9.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84