

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
в г. Петровске

УТВЕРЖДАЮ
Директор филиала СГТУ
имени Гагарина Ю.А. в г.Петровске
Е.А.Бесшапошникова
«30» июня 2021 г.



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по дисциплине

ОП.05 «Материаловедение»

специальности

13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»

Методические указания рассмотрены
на заседании предметной (цикловой)
комиссии общепрофессиональных
дисциплин, профессиональных модулей
специальностей
технического профиля

«14» июня 2021 года, протокол № 13

Председатель ПЦК  /Т.А.Лескина/

Петровск 2021

Пояснительная записка

Методические указания по выполнению практических работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Материаловедение», требованиями Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее - СПО) 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 14.12.2017 № 1216 и соответствующих общих (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций:

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности;

ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие;

ОК 04. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами;

ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста;

ОК 06. Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей;

ОК 07. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях;

ОК 08. Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности;

ОК 09. Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности;

ОК 10. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках;

ОК 11. Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере.

ПК 2.1. Читать и составлять электрические схемы электрических подстанций и сетей;

ПК 2.2. Выполнять основные виды работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии;

ПК 2.3. Выполнять основные виды работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок, систем релейных защит и автоматизированных систем;

ПК 2.4. Выполнять основные виды работ по обслуживанию воздушных и кабельных линий электроснабжения;

ПК 2.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

ПК 3.1. Планировать и организовывать работу по ремонту оборудования; ПК 3.2. Находить и устранять повреждения оборудования;

ПК 3.3. Выполнять работы по ремонту устройств электроснабжения;

ПК 3.4. Оценивать затраты на выполнение работ по ремонту устройств электроснабжения;

ПК 3.5. Выполнять проверку и анализ состояния устройств и приборов, используемых при ремонте и наладке оборудования;

ПК 3.6. Производить настройку и регулировку устройств и приборов для ремонта оборудования электрических установок и сетей.

ПК 4.1. Обеспечивать безопасное производство плановых и аварийных работ в электрических установках и сетях.

При выполнении практических работ студент должен **знать:**

- виды механической, химической и термической обработки металлов и сплавов;
- виды прокладочных и уплотнительных материалов;
- закономерности процессов кристаллизации и структурообразования металлов и сплавов, защиты от коррозии;
- классификация, основные виды, маркировка, область применения и виды обработки конструкционных материалов, основные сведения об их назначении и свойствах, принципы их выбора для применения в производстве;
- методы измерения параметров и определения свойств материалов;
- основные сведения о кристаллизации и структуре расплавов;
- основные сведения о назначении и свойствах металлов и сплавов, о технологии их производства;
- основные свойства полимеров и их использование;
- особенности строения металлов и сплавов;
- свойства смазочных и абразивных материалов;
- способы получения композиционных материалов;
- сущность технологических процессов литья, сварки, обработки металлов давлением и резанием.

При выполнении практических работ студент должен **уметь:**

- определять свойства конструкционных и сырьевых материалов, применяемых в производстве, по маркировке, внешнему виду, происхождению, свойствам, составу, назначению и способу приготовления;
- определять твердость материалов;
- определять режимы отжига, закалки и отпуска стали;
- подбирать конструкционные материалы по их назначению и условиям эксплуатации;
- подбирать способы и режимы обработки металлов (литьем, давлением, сваркой, резанием) для изготовления различных деталей.

Содержание практических занятий определено рабочей программой и тематическим планированием, соответствует теоретическому материалу изучаемых разделов учебной дисциплины.

Объём практических занятий по дисциплине определяется учебным планом по данной специальности.

Продолжительность практического занятия - 2 академических часа. Перед проведением практического занятия преподавателем организуется инструктаж, а по ее окончании – обсуждение итогов.

Комплект методических указаний по выполнению практических работ дисциплины «Материаловедение» содержит 10 практических занятий.

**Перечень практических работ
по дисциплине «Материаловедение»**

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Тема: «Испытание металлов на твёрдость методом Бринелля»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Тема: «Испытание металлов на твёрдость методом Роквелла»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Тема: «Подбор способов и режимов термической обработки металлов в зависимости от заданных условий»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

Тема: «Подбор марок сталей для деталей машин и аппаратов»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

Тема: «Подбор марок сталей для деталей машин и аппаратов»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

Тема: «Анализ марок сталей и определение их физических и химических свойств»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7

Тема: «Определение электрической прочности трансформаторного масла»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №8

Тема: «Определение электрической прочности твёрдых диэлектриков»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №9

Определение электрической прочности газообразных диэлектриков

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №10

Тема: «Определение поверхностного перекрытия изоляторов»

ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Прежде чем приступить к выполнению заданий, внимательно прочитайте данные рекомендации. Практические работы включают в себя задания следующих видов:

1. Ответ на поставленные вопросы (с аргументацией)

Прочитайте вопрос и вникните в него.

Для удобства подчеркните ту, фразу, которая, по вашему мнению, является главной. Это поможет вам быстрее сориентироваться при ответе на вопрос.

Если вы считаете, что можете ответить на вопрос без помощи лекции и дополнительной литературы – приступайте. Если же вопрос заставляет вас сомневаться, откройте лекционную тетрадь (учебник или дополнительную литературу), прочитайте необходимый пункт, вникните в содержание и после этого приступайте за работу.

ГЛАВНОЕ! Не переписывайте отрывки лекции в рабочую тетрадь! Четко отвечайте на ПОСТАВЛЕННЫЙ вопрос!

Не забудьте привести аргументацию (обоснование) вашей позиции, если вопрос предполагает личностное отношение к проблеме.

2. Заполнение таблиц и схем

Прочитайте название таблицы или схемы.

Исходя из названия, вы поймете цель предстоящей работы.

Воспользуйтесь материалами лекций или другими источниками, чтобы заполнить таблицу(схему).

Используйте цветные графические материалы для выделения строк, столбцов или элементов схем.

Особое внимание обращайте на четкость при отборе материала: делайте записи кратко и четко!

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Тема: «Испытание металлов на твёрдость методом Бринелля»

Цель: практическое изучение метода определения твердости материалов по Бринеллю.

Оборудование: прибор типа ТШ, образцы для испытания, стальной закаленный шарик, наконечник.

Справочный материал.

Твердость – это свойство материалов сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела под действием нагрузки.

Определение твердости является наиболее широко распространенным методом испытания материалов, позволяющим в большинстве случаев без разрушения изделия и изготовления специальных образцов судить о качестве изделия.

Приборы для испытания на твердость просты, обладают высокой производительностью, не требуют работников высокой квалификации и могут использоваться непосредственно на рабочем месте.

Наиболее широко применяются следующие способы измерения твердости:

- вдавливанием стального шарика (метод Бринелля);
- вдавливанием алмазного конуса (метод Роквелла);
- вдавливанием четырехгранной алмазной пирамиды (метод Виккерса);

Измерение твердости вдавливанием стального шарика (метод Бринелля)

По методу Бринелля твердость металла определяют вдавливанием в испытуемый образец (изделие) закаленного стального шарика (рисунке 3.1а) диаметром 10; 5 или 2,5 мм под действием заданной нагрузки в течении определенного времени и выражают числом твердости НВ, полученный путем деления приложенной нагрузки Р в кг на поверхность образовавшегося на образце отпечатка шарика (шарового сегмента) Fв мм:

$$HВ = \frac{P}{F} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ [кг / мм}^2\text{]} \quad (3.1)$$

где Р - нагрузка в кг;

D- диаметр шарика в мм;

d- диаметр отпечатка шарика в мм.

Диаметр шарика, нагрузку и длительность выдержки под нагрузкой выбирают в зависимости от твердости и толщины образца (таблице 3.1).

Чем тверже металл, тем меньше диаметр отпечатка и тем выше число твердости по Бринеллю.

Диаметр отпечатка измеряется при помощи специальной лупы, имеющей шкалу с ценой деления 0,1 мм или 0,05мм (рисунок 1б).



Рис.1.Схема определения твердости по Бринеллю (а)и отсчет по шкале (б)

При диаметре шарика 10 мм и нагрузке 3000 кг твердость обозначается цифрами перед символом НВ, например 250НВ, что означает твердость по Бринеллю 250 кг /мм².

Во избежание сложных вычислений числа твердости для каждого отпечатка на практике используются готовыми таблицами.

Таблица 1 – Выбор режимов испытаний на твердость методом Бринелля

| Материал | Интервал твердости в числах Бринелля | Минимальная толщина испытуемого образца, мм | Соотношение между нагрузкой Р и диаметром шарика D | Диаметр шарика D, мм | Нагрузка Р, кг | Выдержка под нагрузкой, сек |
|-----------------|--------------------------------------|---|--|----------------------|----------------|-----------------------------|
| Черные металлы | 140-450 | От 6 до 3 | $P=30D^2$ | 10 | 3000 | 10 |
| | | От 4 до 2 | | 5 | 750 | |
| | | Менее 2 | | 2,5 | 187,5 | |
| Черные металлы | Менее 140 | Более 6 | $P=10D^2$ | 10 | 1000 | 10 |
| | | От 6 до 3 | | 5 | 250 | |
| | | Менее 3 | | 2,5 | 62,5 | |
| Цветные металлы | Более 130 | От 6 до 3 | $P=30D^2$ | 10 | 3000 | 30 |
| | | От 4 до 2 | | 5 | 750 | |
| | | Менее 2 | | 2,5 | 187,5 | |
| Цветные металлы | 35-130 | От 9 до 5 | $P=10D^2$ | 10 | 1000 | 30 |
| | | От 6 до 3 | | 5 | 250 | |
| | | Менее 3 | | 2,5 | 62,5 | |
| Цветные металлы | 8-35 | Более 6 | $P=2,5D^2$ | 10 | 250 | 60 |
| | | От 6 до 3 | | 5 | 62,6 | |

| | | | | | | |
|--|--|---------|--|-----|------|--|
| | | Менее 3 | | 2,5 | 15,6 | |
|--|--|---------|--|-----|------|--|

Между числами твердости по Бринеллю и пределом прочности σ_B металлов существует следующая приближенная зависимость:

$$\sigma_B = K * HB, \text{ кг/мм}^2 \quad (3.2)$$

где K - коэффициент, определяемый по таблице (3.2).

Таблица 2 – Выбор значения коэффициента K в зависимости от вида испытуемого материала

| | | | |
|---------------------|------|---------------------|------|
| Сталь легированная | 0,34 | Дуралюминий | 0,37 |
| Сталь углеродистая | 0,36 | Медь холоднокатаная | 0,35 |
| Алюминий отожженный | 0,4 | Медь отожженная | 0,48 |

Наиболее распространенными стандартными условиями при испытании твердости являются: нагрузка 3000 кг, диаметр шарика 10 мм и длительность выдержки 10 сек.

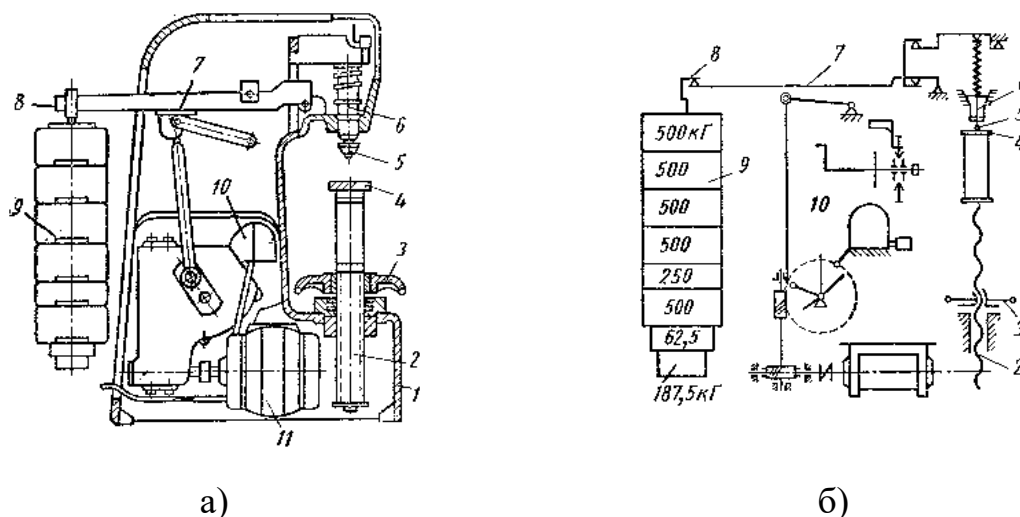


Рисунок 2 - Прибор типа ТШ с механическим приводом:
а – общий вид; б – кинематическая схема

Для определения твердости по Бринеллю используются твердомером типа ТШ (рис.2).

Прибор имеет станину 1, в нижней части которой помещен винт 2 со сменными столиками 4 для испытуемых образцов. Перемещения винта осуществляется вручную маховиком 3. В верхней части станины находится шпиндель 6 со сменными наконечниками, в которые вставляются шарики 5. Основная нагрузка прикладывается к образцу посредством рычажной системы. На длинном плече основного рычага 7 имеется подвеска 8 с грузами 9. Комбинацией грузов можно осуществить нагрузки 187,5; 250; 750; 1000 и 3000 кг. Нагрузка прилагается автоматически с помощью электродвигателя 11, находящегося внутри станины, при нажатии пусковой кнопки. Для установки

продолжительности испытания служит передвижной упор переключателя 10, устанавливающийся до начала испытания в положение, соответствующее требуемой выдержке (10, 30 или 60 сек).

Недостатки метода Бринелля:

- невозможность испытания материалов, имеющих твердость более 450 НВ, так как шарик будет деформироваться и показания будут неточными;
- невозможность испытания твердости тонкого поверхностного слоя и пластин (менее 1-2 мм), так как шарик будет продавливать тонкий слой материала;
- после испытания остаются заметные следы на поверхности изделия.

Порядок выполнения работы

1.Измерение твердости методом Бринелля

1. Изучить работу твердомера типа ТШ.
2. Подготовить образцы к испытанию (поверхность образца должна быть плоской и чистой от загрязнений и окалины. Толщина образца – не менее десятикратной глубины отпечатка).
3. Выбрать в зависимости от заданных условий испытания и типа образца диаметр шарика, нагрузку и время выдержки под нагрузкой.
4. Закрепить шариковый наконечник в шпинделе установочным винтом.
5. Поместить на подвеску требуемое для испытания количество сменных грузов.
6. Установить упор на нужную продолжительность выдержки и закрепить стопорным винтом.
7. Установить на столик (испытания круглых образцов производят с помощью специальной подставки) испытуемый образец и вращением маховика поднять его к шариковому наконечнику, оказывая предварительную нагрузку на образец порядка 100 кг. Нагрузка должна быть приложена в направлении, перпендикулярном к плоскости образца. Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее диаметра шарика, а от центра соседнего отпечатка – на расстоянии не менее двух диаметров шарика.
8. Нажать на пусковую кнопку, приводя в движение электродвигатель и передать нагрузку на образец.
9. После окончания испытания опустить столик, снять образец и измерить диаметр отпечатка в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи лупы. Диаметр отпечатка измеряют с точностью до 0,05 мм при испытании шариком диаметром 10 и 5 мм и с точностью до 0,01 мм при испытании шариком диаметром 2,5 мм.
10. По величине диаметра отпечатка рассчитать число твердости НВ.
11. Повторить эксперимент 3 раза.
12. Определить среднее число твердости НВ.
13. По полученным числам твердости определить величины предела прочности, пользуясь имеющимися соотношениями между НВ и σ_B .
14. Результаты испытаний внести в протокол.

Таблица 2 - Протокол испытания на твердость по методу Бринелля.

| № исп. | Материал и толщина образца, мм | Диаметр шарика D, мм | Нагрузка Р, кг | Диаметр отпечатка d, мм | Число твердости НВ | Среднее число твердости НВ | Предел прочности σ_B , кг/мм ² |
|--------|--------------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|--|
| 1. | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | |

Контрольные вопросы

1. Что такое твердость?
2. Какие существуют методы измерения твердости?
3. Как определяется твердость по методу Бринелля?
4. Каким образом производится выбор диаметра шарика при измерении твердости по методу Бринелля?
5. Какова зависимость между числами твердости НВ и пределом прочности металлов σ_B ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Тема: «Испытание металлов на твёрдость методом Роквелла»

Цель: практическое изучение метода определения твердости материалов по Роквеллу.

Оборудование: прибор типа ТК, образцы для испытания, стальной закаленный шарик, алмазный конус.

Справочный материал.

Твердость – это свойство материалов сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела под действием нагрузки.

Определение твердости является наиболее широко распространенным методом испытания материалов, позволяющим в большинстве случаев без разрушения изделия и изготовления специальных образцов судить о качестве изделия.

Приборы для испытания на твердость просты, обладают высокой производительностью, не требуют работников высокой квалификации и могут использоваться непосредственно на рабочем месте.

Наиболее широко применяются следующие способы измерения твердости:

- вдавливанием стального шарика (метод Бринелля);
- вдавливанием алмазного конуса (метод Роквелла);
- вдавливанием четырехгранной алмазной пирамиды (метод Виккерса);

1. Измерение твердости вдавливанием алмазного конуса или стального шарика (метод Роквелла)

По методу Роквелла твердость металлов определяют вдавливанием в испытуемый образец (изделие) стального шарика диаметром 1,588 мм при нагрузке 100 кг или алмазного конуса с углом при вершине 120° при нагрузке 60 или 150 кг. Схема определения твердости по Роквеллу приведена на рисунке 3.3.

При испытании сначала прикладывают предварительную нагрузку P_0 , равную 10 кг, а затем нормальную P , равную 60, 100 или 150 кг (ГОСТ 9013-59). Разность глубин проникновения шарика или алмаза под нагрузками P_0 и P ($h-h_0$) характеризует твердость. Чем меньше эта разность, тем тверже испытуемый материал, и, наоборот, чем больше эта разность, тем мягче материал.

Числа твердости по Роквеллу обозначают HR и вычисляют по формуле.

$$HR = \frac{K - (h - h_0)}{C}, \quad (3)$$

где h_0 – глубина внедрения в мм наконечника под действием предварительной нагрузки P_0 ; h – глубина внедрения наконечника под действием общей нагрузки; K – постоянная величина; для шарика $K=0,26$ и для конуса $K=0,2$; C – цена деления циферблата индикатора прибора, соответствующая углублению наконечника на 0,002 мм.

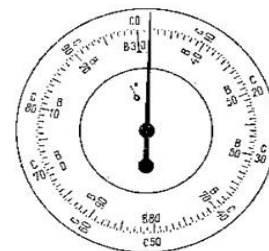
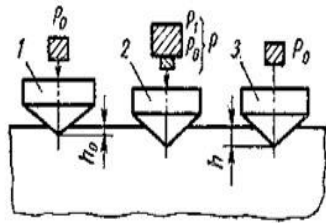


Рис.1. - Схема определения твердости по Роквеллу:

- 1 – углубление конуса под предварительной нагрузкой P_0 ;
- 2 – углубление конуса под общей нагрузкой P , которая равна $P_0 + P_1$;
- 3 – глубина внедрения конуса под действием нагрузки P_0

Рис.2. - Циферблат индикаторного прибора

Таким образом, твердость по Роквеллу выражается в условных единицах.

На практике числа твердости по Роквеллу обычно не вычисляют по приведенной выше формуле, а отсчитывают по шкале индикатора прибора типа ТК непосредственно в процессе испытания (рисунок 3.4).

Нулевое деление черной шкалы совпадает с начальным положением стрелки. Красная шкала смещена относительно нулевого деления черной шкалы на 30 делений в направлении, противоположном движению стрелки индикатора при внедрении наконечником. Следовательно, начальное деление красной шкалы совпадает с делением 30 на циферблате индикатора. Это смещение сделано по той причине, что глубина вдавливания шарика часто превышает 0,2 мм, и тогда стрелка при вдавливании делала бы поворот более чем на 100 делений, т.е. значение твердости могли бы получаться отрицательными. Большая стрелка служит для указания твердости, а малая – для контроля величины предварительного нагружения.

Твердость на приборе ТК можно измерить:

- Алмазным конусом с общей нагрузкой 150 кг (предварительная – 10 кг и основная 140 кг). Значение твердости определяют по черной шкале C и обозначают HRC . Эта шкала применяется для испытания закаленных сталей, обладающих твердостью до $67HRC$, и для определения твердости тонких поверхностных слоев толщиной более 0,5 мм;
- Алмазным конусом с общей нагрузкой 60 кг (предварительная – 10 кг и основная 50 кг). Значение твердости определяют по черной шкале C и обозначают HRA . Эта шкала применяется для испытания сверхтвердых сплавов (например, карбидов вольфрама), тонкого листового материала и для измерения твердости тонких поверхностных слоев (0,3-0,5 мм) или тонких пластинок;

- Стальным шариком 1/16 дюйма с общей нагрузкой 100 кг (предварительная – 10 кг и основная 90 кг). Значение твердости определяют по красной шкале В и обозначают HRB. Шкала В служит для испытаний металлов средней твердости и для испытаний изделий толщиной от 0,8 до 2 мм.

На основании опытных работ установлена связь между числами твердости по Роквеллу (при $HRC > 20$) и по Бринеллю $HB \approx 10 \cdot HRC(3.4)$

К достоинствам метода Роквелла следует отнести высокую производительность, простоту обслуживания, точность измерения и сохранение качественной поверхности после испытаний. Не рекомендуется применять этот метод для определения твердости неоднородных по структуре сплавов (чугуна), для испытания криволинейных поверхностей с радиусом кривизны менее 5 мм и для испытания деталей которые под действием нагрузки могут деформироваться.

1. Измерение твердости методом Роквелла

1. Изучить работу твердомера типа ТК.
2. Подготовить образцы к испытанию (поверхность образца должна быть плоской и чистой от загрязнений и окалины. Толщина образца – не менее восьмикратной глубины отпечатка).
3. Выбрать в зависимости от заданных условий испытания и типа образца наконечник.
4. Закрепить наконечник в шпинделе установочным винтом.
5. Подобрать грузы соответственно выбранному наконечнику и применительно к шкале, по которой предполагается вести испытания и подвесить их.
6. Установить на столик (испытания круглых образцов производят с помощью специальной подставки) испытуемый образец и вращением маховика поднять его до соприкосновения с наконечником, а затем дальнейшим вращением маховика произвести предварительное нагружение до тех пор, пока малая стрелка индикатора не совпадет с красной точкой на шкале, а большая стрелка примет вертикальное положение. Если малая стрелка индикатора перейдет за красную точку, то необходимо выбрать на испытуемой поверхности другую точку и испытание начать сначала; затем повернуть ободок индикатора до совпадения нуля черной шкалы с большой стрелкой.
7. Привести в движение механизм основного нагружения. В это время большая стрелка поворачивается против часовой стрелки и принимает некоторое положение. После секундной выдержки снять основную нагрузку возвращением рукоятки в начальное положение (притягивают ее к себе). Большая стрелка при этом вращается по часовой стрелке и занимает нужное положение.
8. Отсчитать числа твердости по шкале индикатора. В случае применения алмазного наконечника отсчет производить по наружной черной шкале С,

при шариковом наконечнике – по внутренней красной шкале В. Опустить столик вращением маховика и снять образец.

9. Повторить эксперимент 3 раза.
10. Определить среднее число твердости HR.
11. Перевести полученную твердость по Роквеллу HRB твердость по Бринеллю HB.
12. Результаты испытаний внести в таблицу.

Таблица 3 - Протокол испытания на твердость по методу Роквелла.

| № исп | Материал и толщина образца, мм | Наконечник | Нагрузка Р, кг | Шкала | Число твердости HR | Среднее число твердости HR | Твердость по Бринеллю HB |
|-------|--------------------------------|------------|----------------|-------|--------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1. | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | |

Контрольные вопросы

6. Что такое твердость?
7. Какие существуют методы измерения твердости?
8. Как определяется твердость по методу Роквелла?
9. Каким образом производится выбор диаметра шарика при измерении твердости по методу Роквелля?
10. Какова зависимость между числами твердости HRC и пределом прочности металлов σ_B ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Тема: Подбор способов и режимов термической обработки металлов в зависимости от заданных условий»

Цель: формирование умений выбирать виды и режимы термической обработки в зависимости от заданных условий

Оборудование: учебник «Материаловедение», справочная литература.

Справочный материал.

Термическую обработку применяют на различных стадиях производства деталей машин и металлоизделий. В одних случаях она может быть промежуточной операцией, служащей для улучшения обрабатываемости сплавов давлением, резанием, в других - является окончательной операцией, обеспечивающей необходимый комплекс показателей механических, физических и эксплуатационных свойств изделий или полуфабрикатов. Полуфабрикаты подвергают термической обработке для улучшения структуры, снижения твердости (улучшения обрабатываемости), а детали - для придания им определенных, требуемых свойств (твердости, износостойкости, прочности и других).

В результате термической обработки свойства сплавов могут быть изменены в широких пределах. Возможность значительного повышения механических свойств после термической обработки по сравнению с исходным состоянием позволяет увеличить допускаемые напряжения, уменьшить размеры и массу машин и механизмов, повысить надежность и срок службы изделий. Улучшение свойств в результате термической обработки позволяет применять сплавы более простых составов, а поэтому более дешевые. Сплавы приобретают также некоторые новые свойства, в связи с чем расширяется область их применения.

Назначение и виды термической обработки

Термической обработкой называются процессы, сущность которых заключается в нагреве и охлаждении изделий по определенным режимам, в результате чего происходят изменения структуры, фазового состава, механических и физических свойств материала, без изменения химического состава.

Назначение термической обработки металлов - получение требуемой твердости, улучшение прочностных характеристик металлов и сплавов. Термическая обработка подразделяется на термическую, термомеханическую и химико-термическую. Термическая обработка - только термическое

воздействие, термомеханическая - сочетание термического воздействия и пластической деформации, химико-термическая - сочетание термического и химического воздействия. Термическая обработка, в зависимости от структурного состояния, получаемого в результате ее применения, подразделяется на отжиг (первого и второго рода), закалку и отпуск.

Отжиг

Отжиг - термическая обработка заключающаяся в нагреве металла до определенных температур, выдержка и последующего очень медленного охлаждения вместе с печью. Применяют для улучшения обработки металлов резанием, снижения твердости, получения зернистой структуры, а также для снятия напряжений, устраняет частично (или полностью) всякого рода неоднородности, которые были внесены в металл при предшествующих операциях (механическая обработка, обработка давлением, литье, сварка), улучшает структуру стали.

Отжиг первого рода. Это отжиг при котором не происходит фазовых превращений, а если они имеют место, то не оказывают влияния на конечные результаты, предусмотренные его целевым назначением. Различают следующие разновидности отжига первого рода: гомогенизационный и рекристаллизационный.

Гомогенизационный - это отжиг с длительной выдержкой при температуре выше 950°C (обычно 1100-1200°C) с целью выравнивания химического состава.

Рекристаллизационный - это отжиг наклепанной стали при температуре, превышающей температуру начала рекристаллизации, с целью устранения наклепа и получения определенной величины зерна.

Отжиг второго рода. Это отжиг, при котором фазовые превращения определяют его целевое назначение. Различают следующие виды: полный, неполный, диффузионный, изотермический, светлый, нормализованный (нормализация), сфероидизирующий (на зернистый перлит).

Полный отжиг производят путем нагрева стали на 30-50 °C выше критической точки, выдержкой при этой температуре и медленным охлаждением до 400-500 °C со скоростью 200 °C в час углеродистых сталей, 100 °C в час для низколегированных сталей и 50 °C в час для высоколегированных сталей. Структура стали после отжига равновесная, устойчивая.

Неполный отжиг производится путем нагрева стали до одной из температур, находящейся в интервале превращений, выдержкой и медленным охлаждением. Неполный отжиг применяют для снижения внутренних напряжений, понижения твердости и улучшения обрабатываемости резанием.

Диффузионный отжиг. Металл нагревают до температур 1100-1200°C, так как при этом более полно протекают диффузионные процессы, необходимые для выравнивания химического состава.

Изотермический отжиг заключается в следующем: сталь нагревают, а затем быстро охлаждают (чаще переносом в другую печь) до температуры, находящейся ниже критической на 50-100°C. В основном применяется для

легированных сталей. Экономически выгоден, так как длительность обычного отжига (13 - 15) ч, а изотермического отжига (4 - 6) ч

Сфероидизирующий отжиг (на зернистый перлит) заключается в нагреве стали выше критической температуры на 20 - 30 °С, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении.

Светлый отжиг осуществляется по режимам полного или неполного отжига с применением защитных атмосфер или в печах с частичным вакуумом. Применяется с целью защиты поверхности металла от окисления и обезуглероживания.

Нормализация - заключается в нагреве металла до температуры на (30-50) °С выше критической точки и последующего охлаждения на воздухе. Назначение нормализации различно в зависимости от состава стали. Вместо отжига низкоуглеродистые стали подвергают нормализации. Для среднеуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо закалки и высокого отпуска. Высокоуглеродистые стали подвергают нормализации с целью устранения цементитной сетки. Нормализацию с последующим высоким отпуском применяют вместо отжига для исправления структуры легированных сталей. Нормализация по сравнению с отжигом - более экономичная операция, так как не требует охлаждения вместе с печью.

Закалка

Закалка - это нагрев до оптимальной температуры, выдержка и последующее быстрое охлаждение с целью получения неравновесной структуры.

В результате закалки повышается прочность и твердость и понижается пластичность стали. Основные параметры при закалке - температура нагрева и скорость охлаждения. Критической скоростью закалки называется скорость охлаждения, обеспечивающая получение структуры - мартенсит или мартенсит и остаточный аустенит.

В зависимости от формы детали, марки стали и требуемого комплекса свойств применяют различные способы закалки.

Закалка в одном охладителе. Деталь нагревают до температуры закалки и охлаждают в одном охладителе (вода, масло).

Закалка в двух средах (прерывистая закалка) - это закалка при которой деталь охлаждают последовательно в двух средах: первая среда - охлаждающая жидкость (вода), вторая - воздух или масло.

Ступенчатая закалка. Нагретую до температуры закалки деталь охлаждают в расплавленных солях, после выдержки в течение времени необходимого для выравнивания температуры по всему сечению, деталь охлаждают на воздухе, что способствует снижению закалочных напряжений.

Изотермическая закалка так же, как и ступенчатая, производится в двух охлаждающих средах. Температура горячей среды (соляные, селитровые или щелочные ванны) различна: она зависит от химического состава стали, но всегда на 20-100 °С выше точки мартенситного превращения для данной стали. Окончательное охлаждение до комнатной температуры производится на

воздухе. Изотермическая закалка широко применяется для деталей из высоколегированных сталей. После изотермической закалки сталь приобретает высокие прочностные свойства, то есть сочетание высокой вязкости с прочностью. термический обработка отжиг закалка

Закалка с самоотпуском имеет широкое применение в инструментальном производстве. Процесс состоит в том, что детали выдерживаются в охлаждающей среде не до полного охлаждения, а в определенный момент извлекаются из нее с целью сохранения в сердцевине детали некоторого количества тепла, за счет которого производится последующий отпуск.

Отпуск

Отпуск стали является завершающей операцией термической обработки, формирующей структуру, а следовательно, и свойства стали. Отпуск заключается в нагреве стали до различных температур (в зависимости от вида отпуска, но всегда ниже критической точки), выдержке при этой температуре и охлаждении с разными скоростями. Назначение отпуска - снять внутренние напряжения, возникающие в процессе закалки, и получить необходимую структуру.

В зависимости от температуры нагрева закаленной детали различают три вида отпуска: высокий, средний и низкий.

Высокий отпуск производится при температурах нагрева выше 350-600 °С, но ниже критической точки; такой отпуск применяется для конструкционных сталей.

Средний отпуск производится при температурах нагрева 350 - 500 °С; такой отпуск широко применяется для пружинной и рессорной сталей.

Низкий отпуск производится при температурах 150-250 °С. Твердость детали после закалки почти не изменяется; низкий отпуск применяется для углеродистых и легированных инструментальных сталей, для которых необходимы высокая твердость и износостойкость.

Контроль отпуска осуществляется по цветам побежалости, появляющимся на поверхности детали.

Старение

Старение - это процесс изменения свойств сплавов без заметного изменения микроструктуры. Известны два вида старения: термическое и деформационное.

Термическое старение протекает в результате изменения растворимости углерода в железе в зависимости от температуры.

Если изменение твердости, пластичности и прочности протекает при комнатной температуре, то такое старение называется естественным.

Если же процесс протекает при повышенной температуре, то старение называется искусственным.

Деформационное (механическое) старение протекает после холодной пластической деформации.

Таблица 1. Режимы термической обработки быстрорежущих сталей

| Марка стали | Отжиг | | Закалка | | Отпуск | |
|-------------|-----------|-----------------|-------------|-------------|-----------|-----------------|
| | Тем-ра °С | Твердость НВ | Тем-ра °С | Среда охл. | Тем-ра °С | Твердость НВ |
| P18 | 830 – 850 | 207 – 255 | 1260 – 1300 | Масло, соли | 550 – 570 | 64 – 65 |
| P10K5Ф5 | 840 – 860 | 207 – 255 | 1220 – 1240 | Масло, соли | 575 – 585 | 65 – 67 |
| P9K5 | 840 – 860 | 207 – 255 | 1220 – 1240 | Масло, соли | 555 – 565 | 65 – 67 |
| P6M3 | 830 – 850 | 207 – 235 | 1210 – 1230 | Масло, соли | 555 – 565 | 65 – 66 |
| P18Ф2K8M | 850 – 870 | 263 – 277 | 1220 – 1260 | Масло, соли | 560 – 570 | 67 – 68 |
| P9Ф5 | 840 – 860 | 263 – 277 | 1240 – 1260 | Масло, соли | 575 – 585 | 65 – 67 |
| P14Ф4 | 850 – 860 | 263 – 277 | 1240 – 1260 | Масло, соли | 575 – 585 | 67 – 68 |
| P18Ф2 | 840 – 860 | 263 – 277 | 1260 – 1380 | Масло, соли | 575 – 585 | 67 – 68 |

Порядок выполнения работы:

Задание 1. Изучить данные методические указания.

Задание 2. По данным своего варианта выбрать режимы термообработки из таблиц 1, 2, зарисовать микроструктуру, соответствующую полученной термообработке.

Задание 3. Определить химический состав своего материала, заполнить таблицу 3.

Сделать выводы о механических свойствах инструментальной стали после термообработки.

Задание 4. Заполнить протокол (таблица 3.).

Таблица 2. Варианты задания

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------|------|----------|------|-------|---------|--------|
| Марка стали | У7 | У8 | У10 | У11 | У13 | 9ХС |
| Марка стали | ХВГ | ХВСГ | ХСВФ | P18 | P10K5Ф5 | 3Х2В8Ф |
| Марка стали | P6M3 | P18Ф2K8M | P9Ф5 | P14Ф4 | P18Ф2 | ХГ |

Таблица 3. Протокол практической работы

| Марка стали | Отжиг | | Закалка | | Отпуск | |
|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------------|
| | Температура °С | Твердость НВ | Температура °С | Среда охл. | Температура °С | Твердость НВ |
| | | | | | | |

Контрольные вопросы

1. Для чего проводится термообработка сталей?
2. Виды отжига первого рода
3. Чем отличается закалка от отпуска?
4. Виды отжига второго рода
5. Дефекты Т.О.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

Тема: «Подбор марок сталей для деталей машин и аппаратов»

Цель: получить навыки в работе со справочной литературой по выбору сталей для деталей в зависимости от условий работы.

Оборудование: учебник «Материаловедение», справочная литература.

Справочный материал.

При выборе марки стали для конкретной детали конструктор должен учитывать требуемый уровень прочности, надёжности и долговечности детали, а также технологию её изготовления, экономию металла и специфические условия службы детали (температура, окружающая среда, скорость нагружения и т.п.).

Единых принципов при выборе марки стали пока не разработано, поэтому каждый конструктор выполняет эту задачу в зависимости от своего опыта и знаний; вследствие этого при выборе марки стали случаются и ошибки, что может привести к нежелательным последствиям.

Решая эту задачу, прежде всего, необходимо знать форму, размеры и условия работы детали. Предположим, что чисто конструктивно оптимальное решение найдено. Если сила, действующая на деталь, известна, то можно определить уровень напряжений в наиболее опасных сечениях детали (чем сложнее конфигурация изделия, тем точность такого расчёта меньше). Так как модули упругости для всех сталей практически одинаковы ($E \sim 2 \cdot 10^5$ МПа, $G \sim 0,8 \cdot 10^5$ МПа), то во многих случаях можно подсчитать упругую деформацию при максимальной нагрузке. При невозможности проведения таких расчётов необходимо провести натурные испытания. Если эта деформация находится в допустимых пределах, то следует перейти к основному вопросу – выбору марки стали, а если нет, то необходимо изменить конфигурацию детали: увеличить сечение, ввести рёбра жесткости и др. Следует помнить, что путём подбора марки стали упругую деформацию уменьшить практически невозможно. После этого следует перейти к оценке прочности, надёжности и долговечности детали.

Прочность характеризует сопротивление металла пластической деформации. В большинстве случаев нагрузка не должна вызывать остаточную пластическую деформацию выше определённого значения. Для многих деталей машин (за исключением пружин и других упругих элементов остаточной деформацией, меньшей 0,2 %, можно пренебречь, то есть, условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) определяет для них верхний предел допустимого напряжения [

Надёжность - это свойство материала противостоять хрупкому разрушению. Деталь должна работать при соблюдении условий, предусмотренных проектом (напряжение, температура, скорость нагружения и

т.п.) и преждевременный её выход из строя свидетельствует о том, что она выполнена не из того металла, были нарушения технологии её изготовления или допущены серьёзные ошибки в расчётах прочности и т.д. Но в процессе эксплуатации возможны кратковременные отклонения некоторых параметров от пределов, установленных проектом, и если при этом деталь выдержала экстремальные условия, то она надёжна. Следовательно, надёжность зависит от температуры, скорости деформации и других выходящих за пределы расчёта параметров.

Долговечность – это свойство материала сопротивляться развитию постепенного разрушения, и она оценивается временем, в течение которого деталь может сохранять работоспособность. Это время не бесконечно, т.к. в процессе эксплуатации могут изменяться свойства материала, состояние поверхности детали и т.п. Другими словами, долговечность характеризуется сопротивлением усталости, износу, коррозии, ползучести и другим воздействиям, которые определяются временными показателями.

Конструкционные стали

Цементируемые конструкционные стали

К цементируемым относятся малоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,25 %. Эти стали используются для изготовления деталей, которые в процессе работы подвергаются интенсивному изнашиванию и от которых требуются высокие механические свойства (сопротивление статическим, динамическим грузам или усталости). Для усиления прочностных свойств повышают содержание углерода в цементируемых сталях до 0,25... 0,3 %. Для достижения требуемых свойств детали из этих сталей подвергают также цианированию или нитроцементации.

Цементируемые стали в зависимости от степени упрочняемой сердцевины детали принято подразделять на три группы:

- I . Углеродистые стали с неупрочняемой сердцевиной.
- II. Низколегированные стали со слабоупрочняемой сердцевиной.
- III. Высоколегированные стали с сильно упрочняемой сердцевиной.

К третьей группе относятся также сравнительно малолегированные стали с повышенным содержанием углерода (0,25... 0,3 %). В табл. 1 приведены наиболее широко используемые марки цементируемых сталей, режимы их термообработки и механические свойства в зависимости от сечения детали, а также индекс стоимости, показывающий, во сколько раз приведенная сталь дороже стали Ст 3.

Приняты следующие условные обозначения: ц.- Цементация; з. — закалка; о. — отпуск; з.в. — закалка в воде; з.м. — закалка в масле; з. I — закалка Т; з. II — закалка II, если проводится двойная закалка; норм. — нормализация; отп. - отпуск. Если после температуры отпуска стоит буква «в.» или «м.», то это значит, что охлаждение после отпуска должно быть в воде (в.) или в масле (м.).

Следует отметить, что как в табл. 1 для цементируемых сталей, так и в табл. 2 для улучшаемых сталей приведены режимы термообработки по ГОСТам для контрольных образцов при приемке стали. Такая термообработка обеспечивает получение гарантируемых свойств образцов.

Реальные детали могут обрабатываться по совершенно другим режимам. Так, детали из малоуглеродистых сталей 18ХГТ, 12ХНЗА и других подвергаются цементации, закалке и низкому отпуску, а для образцов при приемке этих сталей по ГОСТу рекомендуется применять только закалку и отпуск. Для деталей фактически не применяется и двойная закалка и др.

Цементируемые стали наиболее широко используют для изготовления шестерен, так как высокая твердость в поверхностном слое повышает усталостную прочность зубьев и уменьшает осповидный износ (питтинг).

В условиях массового производства нитроцементация малоуглеродистых сталей и карбонитрированиеповышенно-легированных сталей имеют преимущества перед простой цементацией. Применение нитроцементации углеродистых сталей обеспечивает лучшую прокаливаемость поверхностного слоя, что позволяет получить высокую твердость и износостойкость деталей при закалке в масле, в то время как цементационный слой при закалке в масле имеет пониженную твердость переходных структур.

Таблица 1.

| Цементуемые конструкционные стали | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|--------------------------------|-----------|------------|-----------------------|-----------------------|------------|----------|--------|-------------------------|---------------|----------------|------------------|
| Группа | Марка стали | Температура термообработки, °С | | | Сечение заготовки, мм | Механические свойства | | | | | Твердость | | Индекс стойкости |
| | | цементации | закалка I | отпуск | | σ_T | σ_B | δ | Ψ | КСУ, Дж/см ² | сердцевины НВ | поверхности НС | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| I | 10 | | 320 | 200 | 20 | 250 | 400 | 25 | 55 | | 140 | | |
| | 15 | | 800 | 200 | 50 | 270 | 500 | 20 | 50 | | 150 | | |
| | 20 | | 800 | 200 | 50 | 320 | 550 | 18 | 45 | | 150 | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| II | 15Г | 930 | 800 | 200 | — | 300 | 500 | 17 | 45 | | ≥179 | 56...62 | 1,15 |
| | 15Х | | 880 | 180 | до 40 | 500 | 600 | 12 | 45 | 70 | | 1,2 | |
| | 15ХРА | | 860 | 180 | 15 | 550 | 750 | 15 | 50 | 90 | | 1,2 | |
| | 20Х | 930 | — | 180 | 25 | 650 | 800 | 11 | 40 | 50 | ≥212 | 56 | 1,2 |
| | 20ХР | 930 | 880 | 200 | 15 | 650 | 850 | 11 | 45 | 80 | ≥212 | 56...62 | 1,2 |
| | 18ХГТ | 930 | | 200 | 50 | 800 | 1000 | — | 50 | 80 | ≥240 | 56...62 | 1,2 |
| | 20ХГР | 930 | | 200 | 15 | 800 | 1000 | 9 | 50 | 80 | 43ННС | 58...62 | 1,25 |
| | 15ХГНТА | 930 | 960 | 200 | | 700 | 950 | 10 | 50 | 90 | ≥229 | | |
| III | 30ХГТЦ | 970 | 870 | 200 | | 1100 | 1500 | 9 | 45 | 60 | | | |
| | 30ХГТ | 930 | | 200 | 120 | 750 | 940 | 12 | 33 | 60 | 270 | 56...62 | 1,4 |
| | 20ХФ | 930 | | 200 | 25 | 800 | 900 | 17 | 52 | | 240 | 56...62 | 1,25 |
| | 12ХНЗА | | 860 | 180 | 15 | 700 | 950 | 11 | 55 | 90 | | | |
| | 20ХГНР | Норм 930 | | 200 | 75 | 1100 | 1160 | 12,5 | 60 | 135 | 321 | | 1,7 |
| | 14ХГ2СР | | 930 | 840 | 200 | 100 | 1070 | 1170 | 14 | 48 | 110 | 350 | 56...62 |
| | 15ХНГ2ВА | | 930 | 860 (отп)* | 190 | 110 | 1180 | 1280 | 11 | 43 | 96 | 363 | 56...62 |
| | 15Х2Г2СВА | | 930 | 860 (отп)* | 180 | 150 | 1150 | 1240 | 13,5 | 44 | 92 | 363 | 56...62 |
| | 18Х2Н4В(М)А | | 900 | 800 (отп)* | 160 | до 120 | 1000 | 1200 | 10 | 45 | 100 | 370 | 58...63 |
| | 18Х2Н4В(М)А | | | | 190 | до 500 | 700 | 900 | 10 | 40 | 50 | 276 | |

Сталь 25ХГМТ становится основным материалом для изготовления шестерен, упрочняемых карбонитрированием или закалкой. Использование карбонитрирования для сталей типа 12Х2Н4А, 20Х2Н4А приводит к резкому увеличению (до 60. . 70 %) остаточного аустенита, снижающему контактную и усталостную прочность деталей. По данным ЗИЛа, предельно допустимое содержание Ni в карбонитрированных сталях составляет 1,2 % (сталь 20ХГНТР).

Для повышения усталостной прочности карбонитрированных деталей в ряде случаев применяется дробеструйный наклеп поверхностного слоя. Прочность деталей при этом повышается как за счет образования сжимающих напряжений, так и структурных изменений в поверхностном слое, которые проявляются в уменьшении количества остаточного аустенита.

Как отмечалось выше, устранение остаточного аустенита в легированных сталях можно достичь нагревом их перед закалкой до температуры $\approx 650^\circ\text{C}$.

В целях повышения производительности в ряде случаев можно заменить цементацию поверхностной закалкой ТВЧ с низким отпуском (180°C) сталей типа 55ПП (0,55 % С, ПП — пониженная прокаливаемость). При этом получают твердость 61...61,5 HRC на глубине 1...2 мм.

Улучшаемые конструкционные стали

Таковыми сталями являются углеродистые и легированные стали с содержанием углерода 0,3...0,5 %.

В табл. 2 приводятся некоторые марки таких сталей и режимы термообработки, свойства в заготовках разных сечений, значение температуры верхнего и нижнего порога хладноломкости. Знаками «+» отмечается чувствительность стали к отпускной хрупкости и к флокенообразованию.

Улучшаемые стали условно разбиты на пять групп.

К I группе относятся углеродистые стали. Ввиду малой прокаливаемости высокие механические свойства при использовании этих сталей достигаются в деталях малого сечения (до 10 мм) при закалке в воде. Стали этой группы используют также в нормализованном состоянии.

Ко II группе отнесены стали, легированные преимущественно хромом или хромом и бором (для увеличения прокаливаемости). Эти стали имеют несколько более высокую прокаливаемость и примерно одинаковый с углеродистыми сталями уровень сопротивления хрупкому разрушению.

Для повышения прокаливаемости хромистые стали подвергаются дополнительному легированию марганцем, хромом, молибденом (стали 40ХГ, 40ХГР, 30ХГС, 30ХМ, 30ХГТ), примеси титана измельчают зерно. Эти стали относятся к III группе. Стали, легированные марганцем, имеют пониженный запас вязкости (более высокий порог хладноломкости).

К IV группе относятся стали, в состав которых входит 1...1,5 % Ni. Эти стали имеют повышенную прокаливаемость, низкое значение температуры хладноломкости и повышенную конструкционную прочность. Их рекомендуют для деталей сечением 40...70 мм.

Стали V группы имеют 2...3 % Ni и дополнительно легированы молибденом и вольфрамом для уменьшения обратимой отпускной хрупкости при высоком отпуске. Стали имеют высокую прокаливаемость и рекомендуются для деталей сечением 70 мм.

Таблица 2.

Улучшаемые конструкции стали

| Группа | Марка стали | Температура, °С | | Сечение заготовки, мм | σ_T | σ_B | δ | Ψ | КСУ, Дж/см ² | Порог хладноломкости, °С | Склонность к | | Индекс стойкости |
|--------|-------------|-----------------|------------|-----------------------|------------|------------|----------|---------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------|------------------|
| | | закалки | отпуска | | | | | | | | отпускной хрупкости | флокенам | |
| I | 40 | 850 | 550...620 | До 60 | 400 | 700 | 18 | 40 | 45 | +20...-60 | — | — | 1,05 |
| | 40Г | 840 | 550 | 50 | 590 | 840 | 20 | 40 | 90 | — | — | — | 1,1 |
| | 45 | 560...600 | 560...600 | До 100 | 450 | 750 | 17 | 35 | 50 | +20...-60 | — | — | 1,05 |
| II | 35ХРА | 860 | 600 | 20 | 460 | 630 | 20 | 71 | 20 | 0...-100 | + | + | 1,15 |
| | 40Х | 850 в.м. | 540...580 | До 50 | 700 | 850 | 10 | 40...50 | 60 | — | + | + | 1,2 |
| | 40ХР | 840 м. | 540...в.м. | 25 | 800 | 1000 | 12 | 50 | 90 | +20...-60 | + | + | 1,2 |
| III | 50 | 830 | 600 | 20 | 520 | 750 | 15 | — | — | — | + | + | — |
| | 38ХС | 900 м. | 630 м. | До 25 | 750 | 950 | 12 | 50 | 70 | -20...120 | — | + | 1,6 |
| | 30ХМ | 830 в.м. | 540 в.м. | 25 | 750 | 950 | 12 | 50 | 90 | — | + | + | 1,3 |
| | 40ХР | 840 м. | 520 в.м. | 25 | 850 | 1000 | 9 | 45 | 60 | +20...-60 | + | + | 1,3 |
| | 40ХГР | 850 м. | 570 в.м. | 25 | 800 | 1000 | 11 | 45 | 80 | +20...-60 | + | + | 1,3 |
| IV | 30ХГС | 870 | 550 в.м. | 60 | 700 | 900 | 9 | 45 | 900 | +40...-60 | + | + | 1,4 |
| | 25ХГС | 870 м. | 550 м. | 25 | 650 | 800 | 12 | 45 | — | — | + | + | 1,55 |
| | 40ХН | 820 м. | 500 | До 100 | 800 | 1000 | 11 | 45 | 70 | 30...-100 | + | + | 1,55 |
| | 40ХНР | 830 м. | 500...550 | 25 | 750 | 900 | 12 | 45 | 70 | — | + | + | 1,6 |
| | 30ХГР | 850 м. | 600 | 25 | 800 | 880 | 19 | 69 | — | 0...-80 | + | + | 1,7 |
| | 40ХНР | 850 м. | 500 в.м. | 40 | 900 | 1100 | 10 | 55 | 80 | +20...-60 | (+) | + | 2,2 |
| | 40ХНМА | 850 м. | 520 в.м. | До 30 | 1500 | 1650 | 9 | 45 | 50 | -40...-120 | (+) | + | » |
| V | 40ХНМА | 850 м. | 520 в.м. | До 30 | 500 | 700 | 15 | 50 | 60 | -40...-120 | (+) | + | » |
| | 34ХНЗМ | 860 м. | 600 | 105...300 | 750 | 870 | 14 | 38 | 60 | -60...-140 | + | + | 3,0 |
| | 38ХНЗМ(В)ФА | 860 м. | 620 | До 800 | 750 | 900 | 11 | 38 | 550 | — | + | + | 3,1 |
| | 30ХН2ВФА | 860 м. | 680 | 25 | 800 | 900 | 10 | 40 | 90 | -40...-120 | + | + | — |

Примечание. в.м. — охлаждение в масле или в воде; м. — охлаждение в масле.

Автоматные стали

Автоматными называют стали обладающие повышенной обрабатываемостью резанием, которая оценивается допускаемой скоростью резания, стойкостью режущего инструмента, чистотой поверхности резания. Для количественной оценки обрабатываемости резанием используются коэффициенты $K_{ТВ}$, спл., $K_{БЫСТР.СТ.}$, которые показывают сравнительную стойкость резца из твердого сплава (тв. спл.) или быстрорежущей стали (быстр. ст.) при принятых условиях резания данной стали к стойкости резца при обработке стали 45, коэффициент обрабатываемости которой принят за единицу.

Обрабатываемость резанием сильно влияет на производительность, качество поверхности изделий и себестоимость продукции. Особое значение имеет обрабатываемость на предприятиях массового производства. Поэтому разработаны стали разного состава с повышенной обрабатываемостью резанием. Вначале это были стали с повышенным содержанием серы и фосфора. Теперь автоматные стали дополнительно легируют свинцом, селеном, а в последние годы — кальцием. У автоматных сталей, содержащих Pb, S, Ca, повышается стойкость инструмента в 1,3 раза и скорость резания на 25...50%.

Присадка к легированным хромистым и хромоникелевым сталям свинца и кальция для улучшения обрабатываемости мало влияет на механические свойства деталей. После оптимальной термической обработки такие стали используются для изготовления нагруженных деталей в автомобильной и тракторной промышленности (стали АЦ45Г2.АСЦ30ХМ, АС20ХГНМ). Их износостойкость может быть повышена цементацией и закалкой. В табл.3 приводятся марки и механические свойства некоторых автоматных сталей.

Таблица 3.

| Марка | Характер обработки | Механические свойства | | | |
|---------|--------------------|-----------------------|------------|----------|--------------------------|
| | | σ_B | σ_T | δ | Твердость НВ не более |
| | | МПа | | % | |
| A12 | | 420 | - | 22 | 160 |
| A20 | | 540 | - | 7 | 217 |
| AC12XH | | 550 | 450 | 10 | 185-220 |
| AC40XГН | | 1000 | 750 | 12 | 277 |

Рессорно-пружинные стали

Основными требованиями, предъявляемыми к деталям типа рессор и пружин являются высокий предел упругости, высокое сопротивление усталости при достаточной пластичности. Для легированных сталей $s_{0,2}$ должно быть не ниже 1000 МПа, пластичность $\delta \approx 5\%$, $\gamma \approx 20...25\%$.

Повышенные значения предела упругости пружинных сталей достигаются закалкой с последующим среднетемпературным отпуском при 400...480 °С (в зависимости от марки стали).

Пружины из марганцовистой кремнистой стали могут работать при температурах до 200 °С. Из стали 50ХФА можно изготовить пружины, работающие при разогреве до 300 °С. Для более высоких температур используются теплостойкие стали 3Х2В8Ф (до 500⁰С), Р 18 - при температурах до 600⁰С.

Пружины, работающие в агрессивных средах, изготавливают из хромистых нержавеющей сталей марок 3Х13, 4Х13, 9Х1 8 или из хромоникелевой аустенитной стали Х18Н9.

Износостойкие стали

Износостойкость материала в большой степени зависит от характера изнашивания. В большинстве случаев материалы, износостойкие в одних условиях изнашивания оказываются совершенно не износостойкими в случае изменения условий изнашивания.

Стали износостойкие в условиях истирающего износа (трения качения, трения скольжения). В подобных условиях работают детали типа шарико- и роликоподшипников валы, детали дорожных и землеройных машин.

Особую группу износостойких сталей составляют шарикоподшипниковые стали, имеющие около 1 % С и от 0,6 до 1,5 % Сг: ШХ6 (0,6 % С), ШХ9 (0,9 % С), ШХ15 (1,5 % С) и др.

При легировании хромом шарикоподшипниковых сталей достигается повышение прокаливаемости и износоустойчивости. К этим сталям предъявляются повышенные требования по чистоте от неметаллических включений, которые могут быть очага и при зарождении усталостных дефектов при работе подшипника.

Твердость сталей после закалки и низкого отпуска (150...200⁰ С) 61...66 НРС.

В качестве износостойкого сплава используется и графитизированная сталь. Такая сталь имеет в своем составе повышенное содержание углерода

(1,3...1,75 %) и кремния (0,75...1,25 %). Благодаря этому часть углерода в стали выделяется в виде графита.

В отличие от чугуна графитизированная сталь обладает способностью пластически деформироваться. В закаленном состоянии она имеет высокую твердость и износостойкость. Графитизированные стали применяются для изготовления штампов, калибров, валов ($\sigma_B = 800$ МПа, $\delta \approx 6$ %).

Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали

Наибольший ущерб деталям механизмов и конструкций наносит электрохимическая коррозия. Коррозионно-стойкие металлы должны иметь повышенное значение электрохимического потенциала строение их должно быть однофазным.

Важнейшими коррозионно-стойкими техническими сплавами являются стали с повышенным содержанием хрома.

Наиболее важными техническими коррозионно-стойкими сталями являются хромистые и хромо стали.

Хромистые нержавеющие стали.

В большинстве случаев содержание хрома в таких сталях не ниже 13% и находится в пределах 13...18% (реже 25...30 %).

Количество углерода в сталях с 13 % хрома может быть от 0,1 до 0,45% (стали 0X13, 10X13, 20X13, 30X13, 40X13). Более высокохромистые сплавы имеют пониженное количество углерода (0,1...0,15%) (стали X17, X25, X28).

По структуре стали 0X13, X17, X25T, X28 относятся к ферритному классу. Стали с повышенным содержанием хрома (17... 30%) не имеют фазовых превращений в твердом виде и поэтому, не могут быть подвергнуты закалке.

Стали с повышенным содержанием углерода (стали 10X13, 20X13, 30X13, 40X13) являются мартенситными сталями.

После закалки и отпуска при 180...250 °C стали 30X13, 40X13 имеют твердость до 50...60 HRC и используются для изготовления режущего инструмента (хирургического), пружин для работы при температурах до 400...450 °C, карбюраторных игл, предметов домашнего обихода. Для повышения механических свойств ферритных хромистых сталей к ним добавляется 2...3% никеля. Стали марок X13H3, 1X17H2 используются для изготовления тяжело нагруженных деталей, работающих в агрессивных средах. После закалки от температуры 1000 °C и отпуска при 275...350 °C предел текучести сталей составляет 1000 МПа.

Хромоникелевые стали в равновесном и в наклепанном состоянии и при высоких температурах имеют более высокие механические свойства и кислотостойкость, чем хромистые стали,

По химическому составу хромоникелевые стали являются высоколегированными. В большинстве случаев находят применение стали, содержащие 18% Cr и 9...10 % Ni. Стали марок X18H9, 12X18H9T, 00X18H10 являются сталями аустенитного класса. Для уменьшения дефицитного никеля часть его в аустенитных сталях заменяют марганцем (сталь 40X14Г 14H3T).

Для этой же цели в состав сталей вводят азот (0,15...0,4 %), например сталь марки 0X20H4AГ11.

Из всех нержавеющей сталей наибольшее применение находят аустенитные нержавеющей стали. Они имеют высокие антикоррозионные свойства, достаточно высокую прочность (σ_T 800 МПа), высокую пластичность ($\delta=40...50$ %, $\Psi=50...60$ %), хорошую свариваемость.

Термическая обработка аустенитных сталей заключается в закалке с температур нагрева 1000...1050 °С в воду. При нагреве происходит растворение карбидов хрома в аустените. Выделение их из аустенита при закалке исключается, так как скорость охлаждения велика. В результате весь хром сохраняется в твердом растворе, вследствие чего коррозионная стойкость стали сохраняется высокой.

Стали типа 10X15H9Ю (Ni, 0,7.. 1,3 % Al) являются аустенитно-мартенситными и могут подвергаться интенсивному упрочнению закалкой и старением при 450...500°С (выделяются дисперсные частицы Ni_3Al). Свойства стали после термообработки $\sigma_B=1200$ МПа, $\sigma_T=950$ МПа.

Для получения особо коррозионно-стойких материалов аустенитные стали дополнительно легируют медью или медью и молибденом (сталь 0X23H28M3ДЗТ) . Для повышения прочности конструкций из высоколегированных сталей применяют дисперсионно твердеющие стали (0X16H40M5ДЗТЗЮ). После закалки с 1100 °С и старения при 650 °С сплав имеет $\sigma_B=1200$ МПа, $\sigma_T=650$ МПа, $\delta 18$ %, $\Psi 25$ %.

Весьма высокую коррозионную стойкость имеют сплавы на никелевой основе (80 %Ni + 20 % Mo) - хастеллой.

Ассортимент коррозионно-стойких сталей весьма широк. При применении этих материалов следует руководствоваться данными справочников, где приводятся сведения о том, для каких агрессивных сред конкретные стали рекомендуются. Наиболее широкое применение имеют хромоникелевые стали аустенитного класса в химической и пищевой промышленности. Их основной недостаток — высокая стоимость и дефицитность никеля.

Жаропрочные стали

Жаропрочностью называется способность материала сопротивляться пластическим деформациям и разрушению при высоких температурах. Жаропрочные материалы используются для изготовления деталей, работающих при высокой температуре, когда имеет место явление ползучести (детали котлов, паровых и газовых турбин и др.):

При ползучести параллельно происходят процессы упрочнения (наклеп) от пластической деформации и устранение наклепа от возврата, полигонизации и рекристаллизации, которые сильно зависят от степени развитости диффузионных процессов.

При ползучести, как и при деформировании при обычных температурах, движению дислокации препятствуют различные факторы (дисперсные

включения посторонних фаз, атмосферы округ дислокаций, пороги на дислокациях, барьеры).

Перлитные, мартенситные жаропрочные стали, сильхромы.

Эти стали применяются главным образом для изготовления деталей котельных агрегатов, паровых турбин, двигателей внутреннего сгорания, работающих при температурах до 550 °С.

Жаропрочные стали перлитного класса содержат относительно мало углерода. Легирование этих сталей хромом, молибденом и ванадием производится для повышения температуры рекристаллизации феррита (марки 12Х1МФ, 20Х3МФ).

Перлитные стали используются в закаленном и высокоотпущенном состоянии.

Большого эффекта упрочнения достигают после нормализации и отпуска при 600.. 650 °С, в результате чего образуются пластинчатые продукты превращения аустенита (типа сорбита закалки), которые в условиях высоких температур обеспечивают большую жаропрочность, чем структуры с глобулярными карбидами типа сорбита отпуска. Повышение жаропрочности обеспечивает наличие ванадия в сталях за счет образования дисперсных карбидов ванадия.

Эти стали должны иметь такие значения предела ползучести, которые приводили бы к остаточной деформации в пределах до 1 % за время 10000...100000 ч работы.

Перлитные стали обладают удовлетворительной свариваемостью, поэтому применяются главным образом в сварных конструкциях (например, трубы пароперегревателей).

Для изготовления жаропрочных деталей, не требующих сварки (клапаны двигателей внутреннего сгорания), применяют хромокремнистые стали — сильхромы.

Сильхром подвергается закалке при нагреве около 1000° и отпуску при 720.. 780 °С. Приведенные стали могут работать при 500.. 600 °С. В случае более высоких температур применяются стали аустенитного класса.

Аустенитные жаропрочные стали.

Аустенитные стали применяются в условиях, когда рабочая температура составляет 500.. 700 °С. Из этих сталей изготавливают клапаны двигателей, лопатки газовых турбин и т. д.

Основными жаропрочными аустенитными сталями являются хромоникелевые стали. Для улучшения свойств жаропрочности аустенитные стали дополнительно легируют вольфрамом, молибденом, ванадием и другими элементами. Хромоникелевые аустенитные стали используются после термической обработки. Аустенитные стали с добавками других элементов могут быть подвергнуты закалке, при которой избыточные фазы (карбиды, нитриды, интерметаллические соединения) растворяются в аустените. После закалки делается старение при температурах выше эксплуатационных. Избыточные фазы выделяются из аустенита в процессе старения в дисперсном состоянии, благодаря чему увеличивается сопротивление стали ползучести.

Установлено, что ВТМО с обжатием на 25...30 % при 1200 °С с подстуживанием до 1100...1000°С, немедленная закалка и последующее старение повышают жаропрочность аустенитных сталей в условиях работы при 550...650 °С. Это достигается образованием при ВТМО зубчатых границ зерен, препятствующих развитию и распространению межзеренных трещин при ползучести.

Порядок выполнения работы:

Задание 1. Изучить данные методические указания.

Задание 2. По данным своего варианта выбрать марку стали для изготовления детали, используя справочный материал

1. Выбрать марку стали для изготовления вала, которой работает при повышенных нагрузках и имеет твердость поверхности на глубине 0,8 мм HRC50-52.

2. Выбрать марку стали для изготовления шестерни, которая работает при высоких нагрузках в условиях незначительной вибрации в соответствующем узле.

3. Выбрать марку стали для изготовления шестерни, которая работает при высоких нагрузках и имеет наименьшую стоимость.

4. Для изготовления червяка диаметром 18 мм, которой работает при средних нагрузках, необходимо выбрать марку стали.

5. Выбрать марку стали для изготовления плоской волновой пружины, которая используется в электротехнике и работает с незначительными нагрузками.

6. Вал диаметром 80 мм работает при высоких нагрузках в условиях и вибрации и должен быть подвергнут термической обработке для получения твердости по всему перерезу в пределах HRC 48...50. Выбрать марку стали.

7. Выбрать марку стали для изготовления средне нагруженной плоской пружины.

8. Выбрать марку стали для изготовления сверла диаметром 8 мм

9. Выбрать марку стали для изготовления токарного, строгания или долбежного резца.

10. Выбрать марку стали для изготовления длинной развертки, которая работает с малыми скоростями резки.

11. Подобрать марку стали для изготовления фрезы, которая работает с высокими скоростями резания и которая имеет теплостойкость до 600°С.

12. Назначить марку стали для изготовления молотового штампа средних размеров.

13. Подобрать марку стали для изготовления штампа для холодного штампования, который работает при высоком давлении.

14. Подобрать сталь для изготовления тяжело нагруженной шестерни коробки скорости автомобиля.

15. Подобрать марку стали для изготовления пресс-формы для прессования пластмасс.

16. Подобрать марку стали для изготовления клапанов моторов, которые работают в интервале температур 350-600°C.

17. Назначить марку стали для изготовления деталей аппаратов нефтеперерабатывающих заводов, которые работают в интервале температур 500-650°C.

18. Назначить марку стали для изготовления деталей выхлопных систем, которые работают в интервале температур 600-750°C.

19. Необходимо изготовить вал, который работает в среде повышенной влажности.

20. Необходимо изготовить тонкостенную деталь, которая работает в морской воде.

21. Выбрать материал для изготовления постоянного магнита, который сделан горячей штамповкой.

22. Выбрать материал для изготовления постоянного магниту, который сделан мойкой.

23. Подобрать марку стали для изготовления пластин сердечника силового трансформатора толщиной 0,8 мм

24. Необходимо подобрать материал для изготовления ленточного сердечника дросселя из ленты толщиной 0,2 мм с очень высокой магнитной проницаемостью.

| Вариант | № Задачи | Вариант | № Задачи | Вариант | № Задачи |
|---------|------------|---------|------------|---------|----------|
| 1 | 1; 14 | 9 | 9; 22 | 17 | 4; 17 |
| 2 | 2; 15 ; | 10 | 10; 23 | 18 | 5; 18 |
| 3 | 3; 16 | 11 | 11; 24 | 19 | 6; 19 |
| 4 | 4; 17 | 12 | 12; 25 | 20 | 7; 20 |
| 5 | 5; 18 | 13 | 13; 26 | 21 | 8; 21 |
| 6 | 6; 19 | 14 | 1; 14 | 22 | 9; 22 |
| 7 | 7; 20 | 15 | 2; 15 ; | 23 | 10; 23 |
| 8 | 8; 21 | 16 | 3; 16 | 24 | 11; 24 |

Контрольные вопросы

1. Какое содержание углерода в стали обеспечивает хорошую ее свариваемость?

2. Какие требования предъявляются к стали используемой для изготовления изделий методом холодной штамповки?

3. В чем особенность химического состава коррозионностойких сталей?

4. Приведите марки и химические составы каких-либо рессорно-пружинных и

подшипниковых сталей.

5. Как содержание углерода в стали влияет на ее свойства?

6. Приведите несколько марок и химические составы сталей для режущего инструмента?

7. Приведите марку стали для инструмента, используемого при обработке изделий на больших скоростях резания. Каково основное достоинство таких сталей?

8. Приведите по 1-2 марки инструментальных сталей для холодного и горячего деформирования металлов, расшифруйте их?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

Тема: «Подбор марок сталей для деталей машин и аппаратов»

Цель: получить навыки в работе со справочной литературой по выбору сталей для деталей в зависимости от условий работы.

Оборудование: учебник «Материаловедение», справочная литература.

Справочный материал.

При выборе марки стали для конкретной детали конструктор должен учитывать требуемый уровень прочности, надёжности и долговечности детали, а также технологию её изготовления, экономию металла и специфические условия службы детали (температура, окружающая среда, скорость нагружения и т.п.).

Единых принципов при выборе марки стали пока не разработано, поэтому каждый конструктор выполняет эту задачу в зависимости от своего опыта и знаний; вследствие этого при выборе марки стали случаются и ошибки, что может привести к нежелательным последствиям.

Решая эту задачу, прежде всего, необходимо знать форму, размеры и условия работы детали. Предположим, что чисто конструктивно оптимальное решение найдено. Если сила, воздействующая на деталь, известна, то можно определить уровень напряжений в наиболее опасных сечениях детали (чем сложнее конфигурация изделия, тем точность такого расчёта меньше). Так как модули упругости для всех сталей практически одинаковы ($E \sim 2 \cdot 10^5$ МПа, $G \sim 0,8 \cdot 10^5$ МПа), то во многих случаях можно подсчитать упругую деформацию при максимальной нагрузке. При невозможности проведения таких расчётов необходимо провести натурные испытания. Если эта деформация находится в допустимых пределах, то следует перейти к основному вопросу – выбору марки стали, а если нет, то необходимо изменить конфигурацию детали: увеличить сечение, ввести рёбра жесткости и др. Следует помнить, что путём подбора марки стали упругую деформацию уменьшить практически невозможно. После этого следует перейти к оценке прочности, надёжности и долговечности детали.

Прочность характеризует сопротивление металла пластической деформации. В большинстве случаев нагрузка не должна вызывать остаточную пластическую деформацию выше определённого значения. Для многих деталей машин (за исключением пружин и других упругих элементов остаточной деформацией, меньшей 0,2 %, можно пренебречь, то есть, условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) определяет для них верхний предел допустимого напряжения [

Надёжность - это свойство материала противостоять хрупкому разрушению. Деталь должна работать при соблюдении условий, предусмотренных проектом (напряжение, температура, скорость нагружения и т.п.) и преждевременный её выход из строя свидетельствует о том, что она выполнена не из того металла, были нарушения технологии её изготовления

или допущены серьёзные ошибки в расчётах прочности и т.д. Но в процессе эксплуатации возможны кратковременные отклонения некоторых параметров от пределов, установленных проектом, и если при этом деталь выдержала экстремальные условия, то она надёжна. Следовательно, надёжность зависит от температуры, скорости деформации и других выходящих за пределы расчёта параметров.

Долговечность – это свойство материала сопротивляться развитию постепенного разрушения, и она оценивается временем, в течение которого деталь может сохранять работоспособность. Это время не бесконечно, т.к. в процессе эксплуатации могут изменяться свойства материала, состояние поверхности детали и т.п. Другими словами, долговечность характеризуется сопротивлением усталости, износу, коррозии, ползучести и другим воздействиям, которые определяются временными показателями.

Конструкционные стали

Цементируемые конструкционные стали

К цементируемым относятся малоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,25 %. Эти стали используются для изготовления деталей, которые в процессе работы подвергаются интенсивному изнашиванию и от которых требуются высокие механические свойства (сопротивление статическим, динамическим грузам или усталости). Для усиления прочностных свойств повышают содержание углерода в цементируемых сталях до 0,25... 0,3 %. Для достижения требуемых свойств детали из этих сталей подвергают также цианированию или нитроцементации.

Цементируемые стали в зависимости от степени упрочняемой сердцевины детали принято подразделять на три группы:

I . Углеродистые стали с неупрочняемой сердцевиной.

II. Низколегированные стали со слабоупрочняемой сердцевиной.

III. Высоколегированные стали с сильно упрочняемой сердцевиной.

К третьей группе относятся также сравнительно малолегированные стали с повышенным содержанием углерода (0,25... 0,3 %). В табл. 1 приведены наиболее широко используемые марки цементируемых сталей, режимы их термообработки и механические свойства в зависимости от сечения детали, а также индекс стоимости, показывающий, во сколько раз приведенная сталь дороже стали Ст 3.

Приняты следующие условные обозначения: ц.- Цементация; з. — закалка; о. — отпуск; з.в. —закалка в воде; з.м. — закалка в масле; з. I — закалка Т; з.II — закалка II, если проводится двойная закалка; норм. — нормализация; отп. - отпуск. Если после температуры отпуска стоит буква «в.» или «м.», то это значит, что охлаждение после отпуска должно быть в воде (в.) или в масле (м.).

Следует отметить, что как в табл. 1 для цементируемых сталей, так и в табл. 2 для улучшаемых сталей приведены режимы термообработки по ГОСТам

для контрольных образцов при приемке стали. Такая термообработка обеспечивает получение гарантируемых свойств образцов.

Реальные детали могут обрабатываться по совершенно другим режимам. Так, детали из малоуглеродистых сталей 18ХГТ, 12ХНЗА и других подвергаются цементации, закалке и низкому отпуску, а для образцов при приемке этих сталей по ГОСТу рекомендуется применять только закалку и отпуск. Для деталей фактически не применяется и двойная закалка и др.

Цементируемые стали наиболее широко используют для изготовления шестерен, так как высокая твердость в поверхностном слое повышает усталостную прочность зубьев и уменьшает осповидный износ (питтинг).

В условиях массового производства нитроцементация малоуглеродистых сталей и карбонитрированиеповышенно-легированных сталей имеют преимущества перед простой цементацией. Применение нитроцементации углеродистых сталей обеспечивает лучшую прокаливаемость поверхностного слоя, что позволяет получить высокую твердость и износостойкость деталей при закалке в масле, в то время как цементационный слой при закалке в масле имеет пониженную твердость переходных структур.

Таблица 1.

| Цементуемые конструкционные стали | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|--------------------------------|------------|--------|----------------------------|-----------------------|------------|----------|--------|----------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| Группа | Марка стали | Температура термообработки, °С | | | Сечение заготов- ки, мм | Механические свойства | | | | | Твердость | | Индекс стои- мости |
| | | цемен- тации | закалка I | отпуск | | σ_T | σ_B | δ | Ψ | КСУ, Дж/см ² | сердце- вины НВ | поверх- ности HRC | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| I | 10 | | 320 | 200 | 20 | 250 | 400 | 25 | 55 | | 140 | | |
| | 15 | | 800 | 200 | 50 | 270 | 500 | 20 | 50 | | 150 | | |
| | 20 | | 800 | 200 | 50 | 320 | 550 | 18 | 45 | | 150 | | |
| II | 15Г | | 800 | 200 | — | 300 | 500 | 17 | 45 | | | | |
| | 15Х | 930 | 880 | 180 | до 40 | 500 | 600 | 12 | 45 | 70 | ≥ 179 | 56...62 | 1,15 |
| | 15ХРА | | 860 | 180 | 15 | 550 | 750 | 15 | 50 | 90 | | | 1,2 |
| | 20Х | 930 | — | 180 | 25 | 650 | 800 | 11 | 40 | 50 | ≥ 212 | 56 | 1,2 |
| | 20ХР | 930 | 880 | 200 | 15 | 650 | 850 | 11 | 45 | 80 | ≥ 212 | 56...62 | 1,2 |
| | 18ХГТ | 930 | | 200 | 50 | 800 | 1000 | — | 50 | 80 | ≥ 240 | 56...62 | 1,2 |
| | 20ХГР | 930 | | 200 | 15 | 800 | 1000 | 9 | 50 | 80 | 43HRC | 58...62 | 1,25 |
| | 15ХНТА | 930 | 960 | 200 | | 700 | 950 | 10 | 50 | 90 | ≥ 229 | | |
| III | 30ХГТЦ | 970 | 870 | 200 | | 1100 | 1500 | 9 | 45 | 60 | | | |
| | 30ХГТ | 930 | | 200 | 120 | 750 | 940 | 12 | 33 | 60 | 270 | 56...62 | 1,4 |
| | 20ХФ | 930 | | 200 | 25 | 800 | 900 | 17 | 52 | | 240 | 56...62 | 1,25 |
| | 12ХНЗА | | 860 | 180 | 15 | 700 | 950 | 11 | 55 | 90 | | | |
| | 20ХГНР | Норм 930 | | 200 | 75 | 1100 | 1160 | 12,5 | 60 | 135 | 321 | | 1,7 |
| | 14ХГ2СР | 930 | 840 | 200 | 100 | 1070 | 1170 | 14 | 48 | 110 | 350 | 56...62 | |
| | 15ХНГ2ВА | 930 | 860 (отп)• | 190 | 110 | 1180 | 1280 | 11 | 43 | 96 | 363 | 56...62 | |
| | 15Х2Г2СВА | 930 | 860 (отп)• | 180 | 150 | 1150 | 1240 | 13,5 | 44 | 92 | 363 | 56...62 | |
| | 18Х2Н4В(М)А | 900 | 800 (отп)• | 160 | до 120 | 1000 | 1200 | 10 | 45 | 100 | 370 | 58...63 | |
| | 18Х2Н4В(М)А | | | 190 | до 500 | 700 | 900 | 10 | 40 | 50 | 276 | | |

Сталь 25ХГМТ становится основным материалом для изготовления шестерен, упрочняемых карбонитрированием или закалкой. Использование карбонитрирования для сталей типа 12Х2Н4А, 20Х2Н4А приводит к резкому увеличению (до 60. . 70 %) остаточного аустенита, снижающему контактную и усталостную прочность деталей. По данным ЗИЛа, предельно допустимое содержание Ni в карбонитрированных сталях составляет 1,2 % (сталь 20ХГНТР).

Для повышения усталостной прочности карбонитрированных деталей в ряде случаев применяется дробеструйный наклеп поверхностного слоя. Прочность деталей при этом повышается как за счет образования сжимающих

напряжений, так и структурных изменений в поверхностном слое, которые проявляются в уменьшении количества остаточного аустенита.

Как отмечалось выше, устранение остаточного аустенита в легированных сталях можно достичь нагревом их перед закалкой до температуры $\approx 650^\circ\text{C}$.

В целях повышения производительности в ряде случаев можно заменить цементацию поверхностной закалкой ТВЧ с низким отпуском (180°C) сталей типа 55ПП (0,55 % С, ПП — пониженная прокаливаемость). При этом получают твердость 61...61,5 HRC на глубине 1...2 мм.

Улучшаемые конструкционные стали

Таковыми сталями являются углеродистые и легированные стали с содержанием углерода 0,3...0,5 %.

В табл. 2 приводятся некоторые марки таких сталей и режимы термообработки, свойства в заготовках разных сечений, значение температуры верхнего и нижнего порога хладноломкости. Знаками «+» отмечается чувствительность стали к отпускной хрупкости и к флокенообразованию.

Улучшаемые стали условно разбиты на пять групп.

К I группе относятся углеродистые стали. Ввиду малой прокаливаемости высокие механические свойства при использовании этих сталей достигаются в деталях малого сечения (до 10 мм) при закалке в воде. Стали этой группы используют также в нормализованном состоянии.

Ко II группе отнесены стали, легированные преимущественно хромом или хромом и бором (для увеличения прокаливаемости). Эти стали имеют несколько более высокую прокаливаемость и примерно одинаковый с углеродистыми сталями уровень сопротивления хрупкому разрушению.

Для повышения прокаливаемости хромистые стали подвергаются дополнительному легированию марганцем, хромом, молибденом (стали 40ХГ, 40ХГР, 30ХГС, 30ХМ, 30ХГТ), примеси титана измельчают зерно. Эти стали относятся к III группе. Стали, легированные марганцем, имеют пониженный запас вязкости (более высокий порог хладноломкости).

К IV группе относятся стали, в состав которых входит 1...1,5 % Ni. Эти стали имеют повышенную прокаливаемость, низкое значение температуры хладноломкости и повышенную конструкционную прочность. Их рекомендуют для деталей сечением 40...70 мм.

Стали V группы имеют 2...3 % Ni и дополнительно легированы молибденом и вольфрамом для уменьшения обратимой отпускной хрупкости при высоком отпуске. Стали имеют высокую прокаливаемость и рекомендуются для деталей сечением 70 мм.

Таблица 2.

Улучшаемые конструкции стали

| Группа | Марка стали | Температура, °С | | Сечение заготовки, мм | σ_T | σ_B | δ | Ψ | КСУ, Дж/см² | Порог хладноломкости, °С | Склонность к | | Индекс стойкости | |
|--------|--|-----------------|------------|-----------------------|------------|------------|----------|---------|-------------|--------------------------|---------------------|----------|------------------|-----|
| | | закалки | отпуска | | | | | | | | отпускной хрупкости | флокенам | | |
| I | 40 40Г 45 | 850 | 550...620 | До 60 | 400 | 700 | 18 | 40 | 45 | +20...-60 | — | — | 1,05 | |
| | | 840 | 550 | 50 | 590 | 840 | 20 | 20 | 90 | | | | 1,1 | |
| | | 560...600 | 560...600 | До 100 | 450 | 750 | 17 | 35 | 50 | +20...-60 | | | 1,05 | |
| II | 35ХРА 40Х 40ХР 50 | 860 | 600 | 20 | 460 | 630 | 20 | 71 | 20 | 0...-100 | + | + | 1,15 | |
| | | 850 в.м. | 540...580 | До 50 | 700 | 850 | 10 | 40...50 | 60 | | + | + | | |
| | | 840 м. | 540...в.м. | 25 | 800 | 1000 | 12 | 50 | 90 | +20...-60 | + | + | 1,2 | |
| | | 830 | 600 | 20 | 520 | 750 | 15 | | | | | | | |
| III | 38ХС 30ХМ 40ХР 40ХГР 30ХГС | 900 м. | 630 м. | До 25 | 750 | 950 | 12 | 50 | 70 | -20...120 | — | + | 1,6 | |
| | | 830 в.м. | 540 в.м. | | 750 | 950 | 12 | 50 | 90 | | + | + | 1,3 | |
| | | 840 м. | 520 в.м. | | 25 | 850 | 1000 | 9 | 45 | 60 | +20...-60 | + | + | 1,3 |
| | | 850 м. | 570 в.м. | | 25 | 800 | 1000 | 11 | 45 | 80 | +20...-60 | + | + | 1,4 |
| | | 870 | 550 в.м. | | 60 | 700 | 900 | 9 | 45 | 900 | +40...-60 | + | + | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| IV | 25ХГС 40ХН 40ХНР 30ХГР 40ХНР 40ХНМА 40ХНМА | 870 м. | 550 м. | До 100 | 650 | 800 | 12 | 45 | 70 | 30...-100 | + | + | 1,55 | |
| | | 820 м. | 500 | | 800 | 1000 | 11 | 45 | 70 | | + | + | | |
| | | 830 м. | 500...550 | | 750 | 900 | 12 | 45 | 70 | | + | + | 1,6 | |
| | | 850 м. | 600 | | 800 | 880 | 19 | 69 | 60 | 0...-80 | + | + | 1,7 | |
| | | 850 м. | 500 в.м. | | 25 | 900 | 1100 | 10 | 55 | 80 | +20...-60 | + | + | 2,2 |
| | | 850 м. | 520 в.м. | | 40 | 1500 | 1650 | 9 | 45 | 50 | -40...-120 | (+) | + | » |
| | | 850 м. | 520 в.м. | | До 30 | 500 | 700 | 15 | 50 | 60 | -40...-120 | (+) | + | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| V | 34ХНЗМ 38ХНЗМ(В)ФА 30ХН2ВФА | 860 м. | 600 | 105...300 | 750 | 870 | 14 | 38 | 60 | -60...-140 | + | + | 3,0 | |
| | | 860 м. | 620 | До 800 | 750 | 900 | 11 | 38 | 550 | | | | 3,1 | |
| | | 860 м. | 680 | 25 | 800 | 900 | 10 | 40 | 90 | -40...-120 | + | + | | |

Примечание. в.м. — охлаждение в масле или в воде; м. — охлаждение в масле.

Автоматные стали

Автоматными называют стали обладающие повышенной обрабатываемостью резанием, которая оценивается допускаемой скоростью резания, стойкостью режущего инструмента, чистотой поверхности резания. Для количественной оценки обрабатываемости резанием используются коэффициенты $K_{ТВ}$, $спл.$, $K_{быстр.ст.}$, которые показывают сравнительную стойкость резца из твердого сплава (тв. спл.) или быстрорежущей стали (быстр. ст.) при принятых условиях резания данной стали к стойкости резца при обработке стали 45, коэффициент обрабатываемости которой принят за единицу.

Обрабатываемость резанием сильно влияет на производительность, качество поверхности изделий и себестоимость продукции. Особое значение имеет обрабатываемость на предприятиях массового производства. Поэтому разработаны стали разного состава с повышенной обрабатываемостью резанием. Вначале это были стали с повышенным содержанием серы и фосфора. Теперь автоматные стали дополнительно легируют свинцом, селеном, а в последние годы — кальцием. У автоматных сталей, содержащих Pb, S, Ca, повышается стойкость инструмента в 1,3 раза и скорость резания на 25...50%.

Присадка к легированным хромистым и хромоникелевым сталям свинца и кальция для улучшения обрабатываемости мало влияет на механические свойства деталей. После оптимальной термической обработки такие стали используются для изготовления нагруженных деталей в автомобильной и тракторной промышленности (стали АЦ45Г2.АСЦ30ХМ, АС20ХГНМ). Их износостойкость может быть повышена цементацией и закалкой. В табл.3 приводятся марки и механические свойства некоторых автоматных сталей.

Таблица 3.

| Марка | Характер обработки | Механические свойства | | | |
|---------|--------------------|-----------------------|------------|----------|--------------------------|
| | | σ_b | σ_T | δ | Твердость НВ не более |
| | | МПа | | % | |
| A12 | | 420 | - | 22 | 160 |
| A20 | | 540 | - | 7 | 217 |
| AC12XH | | 550 | 450 | 10 | 185-220 |
| AC40XГН | | 1000 | 750 | 12 | 277 |

Рессорно-пружинные стали

Основными требованиями, предъявляемыми к деталям типа рессор и пружин являются высокий предел упругости, высокое сопротивление усталости при достаточной пластичности. Для легированных сталей $s_{0,2}$ должно быть не ниже 1000 МПа, пластичность $\delta \approx 5\%$, $\psi \approx 20...25\%$.

Повышенные значения предела упругости пружинных сталей достигаются закалкой с последующим среднетемпературным отпуском при 400...480 °С (в зависимости от марки стали).

Пружины из марганцовистой кремнистой стали могут работать при температурах до 200 °С. Из стали 50ХФА можно изготовить пружины, работающие при разогреве до 300 °С. Для более высоких температур используются теплостойкие стали 3Х2В8Ф (до 500⁰С), Р 18 - при температурах до 600⁰С.

Пружины, работающие в агрессивных средах, изготавливают из хромистых нержавеющей сталей марок 3Х13, 4Х13, 9Х1 8 или из хромоникелевой аустенитной стали Х18Н9.

Износостойкие стали

Износостойкость материала в большой степени зависит от характера изнашивания. В большинстве случаев материалы, износостойкие в одних условиях изнашивания оказываются совершенно не износостойкими в случае изменения условий изнашивания.

Стали износостойкие в условиях истирающего износа (трения качения, трения скольжения). В подобных условиях работают детали типа шарико- и роликоподшипников валы, детали дорожных и землеройных машин.

Особую группу износостойких сталей составляют шарикоподшипниковые стали, имеющие около 1 % С и от 0,6 до 1,5 % Сг: ШХ6 (0,6 % С), ШХ9 (0,9 % С), ШХ15 (1,5 % С) и др.

При легировании хромом шарикоподшипниковых сталей достигается повышение прокаливаемости и износоустойчивости. К этим сталям предъявляются повышенные требования по чистоте от неметаллических включений, которые могут быть очага и при зарождении усталостных дефектов при работе подшипника.

Твердость сталей после закалки и низкого отпуска (150...200⁰ С) 61...66 HRC.

В качестве износостойкого сплава используется и графитизированная сталь. Такая сталь имеет в своем составе повышенное содержание углерода (1,3...1,75 %) и кремния (0,75...1,25 %). Благодаря этому часть углерода в стали выделяется в виде графита.

В отличие от чугуна графитизированная сталь обладает способностью пластически деформироваться. В закаленном состоянии она имеет высокую твердость и износостойкость. Графитизированные стали применяются для изготовления штампов, калибров, валов ($\sigma_B = 800$ МПа, $\delta \approx 6$ %).

Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали

Наибольший ущерб деталям механизмов и конструкций наносит электрохимическая коррозия. Коррозионно-стойкие металлы должны иметь повышенное значение электрохимического потенциала строение их должно быть однофазным.

Важнейшими коррозионно-стойкими техническими сплавами являются стали с повышенным содержанием хрома.

Наиболее важными техническими коррозионно-стойкими сталями являются хромистые и хромо стали.

Хромистые нержавеющие стали.

В большинстве случаев содержание хрома в таких сталях не ниже 13% и находится в пределах 13...18% (реже 25...30 %).

Количество углерода в сталях с 13 % хрома может быть от 0,1 до 0,45% (стали 0X13, 10X13, 20X13, 30X13, 40X13). Более высокохромистые сплавы имеют пониженное количество углерода (0,1...0,15%) (стали X17, X25, X28).

По структуре стали 0X13, X17, X25T, X28 относятся к ферритному классу. Стали с повышенным содержанием хрома (17... 30%) не имеют фазовых превращений в твердом виде и поэтому, не могут быть подвергнуты закалке.

Стали с повышенным содержанием углерода (стали 10X13, 20X13, 30X13, 40X13) являются мартенситными сталями.

После закалки и отпуска при 180...250 °C стали 30X13, 40X13 имеют твердость до 50...60 HRC и используются для изготовления режущего инструмента (хирургического), пружин для работы при температурах до 400...450 °C, карбюраторных игл, предметов домашнего обихода. Для повышения механических свойств ферритных хромистых сталей к ним добавляется 2...3% никеля. Стали марок X13H3, 1X17H2 используются для изготовления тяжело нагруженных деталей, работающих в агрессивных средах. После закалки от температуры 1000 °C и отпуска при 275...350 °C предел текучести сталей составляет 1000 МПа.

Хромоникелевые стали в равновесном и в наклепанном состоянии и при высоких температурах имеют более высокие механические свойства и кислотостойкость, чем хромистые стали,

По химическому составу хромоникелевые стали являются высоколегированными. В большинстве случаев находят применение стали, содержащие 18% Cr и 9...10 % Ni. Стали марок X18H9, 12X18H9T, 00X18H10

являются сталями аустенитного класса. Для уменьшения дефицитного никеля часть его в аустенитных сталях заменяют марганцем (сталь 40X14Г I4H3T).

Для этой же цели в состав сталей вводят азот (0,15...0,4 %), например сталь марки 0X20H4AГ11.

Из всех нержавеющей сталей наибольшее применение находят аустенитные нержавеющей стали. Они имеют высокие антикоррозионные свойства, достаточно высокую прочность (σ_T 800 МПа), высокую пластичность ($\delta=40...50$ %, $\Psi=50...60$ %), хорошую свариваемость.

Термическая обработка аустенитных сталей заключается в закалке с температур нагрева 1000...1050 °С в воду. При нагреве происходит растворение карбидов хрома в аустените. Выделение их из аустенита при закалке исключается, так как скорость охлаждения велика. В результате весь хром сохраняется в твердом растворе, вследствие чего коррозионная стойкость стали сохраняется высокой.

Стали типа 10X15H9Ю (Ni, 0,7.. 1,3 % Al) являются аустенитно-мартенситными и могут подвергаться интенсивному упрочнению закалкой и старением при 450...500°С (выделяются дисперсные частицы Ni_3Al). Свойства стали после термообработки $\sigma_B=1200$ МПа, $\sigma_T=950$ МПа.

Для получения особо коррозионно-стойких материалов аустенитные стали дополнительно легируют медью или медью и молибденом (сталь 0X23H28M3ДЗТ) . Для повышения прочности конструкций из высоколегированных сталей применяют дисперсионно твердеющие стали (0X16H40M5ДЗТЗЮ). После закалки с 1100 °С и старения при 650 °С сплав имеет $\sigma_B=1200$ МПа, $\sigma_T=650$ МПа, $\delta 18$ %, $\Psi 25$ %.

Весьма высокую коррозионную стойкость имеют сплавы на никелевой основе (80 %Ni + 20 % Mo) - хастеллой.

Ассортимент коррозионно-стойких сталей весьма широк. При применении этих материалов следует руководствоваться данными справочников, где приводятся сведения о том, для каких агрессивных сред конкретные стали рекомендуются. Наиболее широкое применение имеют хромоникелевые стали аустенитного класса в химической и пищевой промышленности. Их основной недостаток — высокая стоимость и дефицитность никеля.

Жаропрочные стали

Жаропрочностью называется способность материала сопротивляться пластическим деформациям и разрушению при высоких температурах. Жаропрочные материалы используются для изготовления деталей, работающих при высокой температуре, когда имеет место явление ползучести (детали котлов, паровых и газовых турбин и др.):.

При ползучести параллельно происходят процессы упрочнения (наклеп) от пластической деформации и устранение наклепа от возврата, полигонизации и рекристаллизации, которые сильно зависят от степени развитости диффузионных процессов.

При ползучести, как и при деформировании при обычных температурах, движению дислокации препятствуют различные факторы (дисперсные включения посторонних фаз, атмосферы вокруг дислокаций, пороги на дислокациях, барьеры).

Перлитные, мартенситные жаропрочные стали, сильхромы.

Эти стали применяются главным образом для изготовления деталей котельных агрегатов, паровых турбин, двигателей внутреннего сгорания, работающих при температурах до 550 °С.

Жаропрочные стали перлитного класса содержат относительно мало углерода. Легирование этих сталей хромом, молибденом и ванадием производится для повышения температуры рекристаллизации феррита (марки 12Х1МФ, 20Х3МФ).

Перлитные стали используются в закаленном и высокоотпущенном состоянии.

Большого эффекта упрочнения достигают после нормализации и отпуска при 600.. 650 °С, в результате чего образуются пластинчатые продукты превращения аустенита (типа сорбита закалки), которые в условиях высоких температур обеспечивают большую жаропрочность, чем структуры с глобулярными карбидами типа сорбита отпуска. Повышение жаропрочности обеспечивает наличие ванадия в сталях за счет образования дисперсных карбидов ванадия.

Эти стали должны иметь такие значения предела ползучести, которые приводили бы к остаточной деформации в пределах до 1 % за время 10000...100000 ч работы.

Перлитные стали обладают удовлетворительной свариваемостью, поэтому применяются главным образом в сварных конструкциях (например, трубы пароперегревателей).

Для изготовления жаропрочных деталей, не требующих сварки (клапаны двигателей внутреннего сгорания), применяют хромокремнистые стали — сильхромы.

Сильхром подвергается закалке при нагреве около 1000° и отпуску при 720.. 780 °С. Приведенные стали могут работать при 500.. 600 °С. В случае более высоких температур применяются стали аустенитного класса.

Аустенитные жаропрочные стали.

Аустенитные стали применяются в условиях, когда рабочая температура составляет 500.. 700 °С. Из этих сталей изготавливают клапаны двигателей, лопатки газовых турбин и т. д.

Основными жаропрочными аустенитными сталями являются хромоникелевые стали. Для улучшения свойств жаропрочности аустенитные стали дополнительно легируют вольфрамом, молибденом, ванадием и другими элементами. Хромоникелевые аустенитные стали используются после термической обработки. Аустенитные стали с добавками других элементов могут быть подвергнуты закалке, при которой избыточные фазы (карбиды, нитриды, интерметаллические соединения) растворяются в аустените. После закалки делается старение при температурах выше эксплуатационных.

Избыточные фазы выделяются из аустенита в процессе старения в дисперсном состоянии, благодаря чему увеличивается сопротивление стали ползучести.

Установлено, что ВТМО с обжатием на 25...30 % при 1200 °С с подстуживанием до 1100...1000°С, немедленная закалка и последующее старение повышают жаропрочность аустенитных сталей в условиях работы при 550...650 °С. Это достигается образованием при ВТМО зубчатых границ зерен, препятствующих развитию и распространению межзеренных трещин при ползучести.

Порядок выполнения работы:

Задание 1. Изучить данные методические указания.

Задание 2. По данным своего варианта выбрать марку стали для изготовления детали, используя справочный материал

1. Выбрать марку стали для изготовления вала, который работает при повышенных нагрузках и имеет твердость поверхности на глубине 0,8 мм HRC50-52.

2. Выбрать марку стали для изготовления шестерни, которая работает при высоких нагрузках в условиях незначительной вибрации в соответствующем узле.

3. Выбрать марку стали для изготовления шестерни, которая работает при высоких нагрузках и имеет наименьшую стоимость.

4. Для изготовления червяка диаметром 18 мм, который работает при средних нагрузках, необходимо выбрать марку стали.

5. Выбрать марку стали для изготовления плоской волновой пружины, которая используется в электротехнике и работает с незначительными нагрузками.

6. Вал диаметром 80 мм работает при высоких нагрузках в условиях и вибрации и должен быть подвергнут термической обработке для получения твердости по всему перерезу в пределах HRC 48...50. Выбрать марку стали.

7. Выбрать марку стали для изготовления средне нагруженной плоской пружины.

8. Выбрать марку стали для изготовления сверла диаметром 8 мм

9. Выбрать марку стали для изготовления токарного, строгания или долбежного резца.

10. Выбрать марку стали для изготовления длинной развертки, которая работает с малыми скоростями резки.

11. Подобрать марку стали для изготовления фрезы, которая работает с высокими скоростями резания и которая имеет теплостойкость до 600°С.

12. Назначить марку стали для изготовления молотового штампа средних размеров.

13. Подобрать марку стали для изготовления штампа для холодного штампования, который работает при высоком давлении.

14. Подобрать сталь для изготовления тяжело нагруженной шестерни коробки скорости автомобиля.

15. Подобрать марку стали для изготовления пресс-формы для прессования пластмасс.

16. Подобрать марку стали для изготовления клапанов моторов, которые работают в интервале температур 350-600°C.

17. Назначить марку стали для изготовления деталей аппаратов нефтеперерабатывающих заводов, которые работают в интервале температур 500-650°C.

18. Назначить марку стали для изготовления деталей выхлопных систем, которые работают в интервале температур 600-750°C.

19. Необходимо изготовить вал, который работает в среде повышенной влажности.

20. Необходимо изготовить тонкостенную деталь, которая работает в морской воде.

21. Выбрать материал для изготовления постоянного магнита, который сделан

горячей штамповой.

22. Выбрать материал для изготовления постоянного магниту, который сделанмойкой.

23. Подобрать марку стали для изготовления пластин сердечника силового трансформатора толщиной 0,8 мм

24. Необходимо подобрать материал для изготовления ленточного сердечника дросселя из ленты толщиной 0,2 мм с очень высокой магнитной проницаемостью.

| Вариант | № Задачи | Вариант | № Задачи | Вариант | № Задачи |
|---------|------------|---------|------------|---------|----------|
| 1 | 1; 14 | 9 | 9; 22 | 17 | 4; 17 |
| 2 | 2; 15 ; | 10 | 10; 23 | 18 | 5; 18 |
| 3 | 3; 16 | 11 | 11; 24 | 19 | 6; 19 |
| 4 | 4; 17 | 12 | 12; 25 | 20 | 7; 20 |
| 5 | 5; 18 | 13 | 13; 26 | 21 | 8; 21 |
| 6 | 6; 19 | 14 | 1; 14 | 22 | 9; 22 |
| 7 | 7; 20 | 15 | 2; 15 ; | 23 | 10; 23 |
| 8 | 8; 21 | 16 | 3; 16 | 24 | 11; 24 |

Контрольные вопросы

1. Какое содержание углерода в стали обеспечивает хорошую ее свариваемость?

2. Какие требования предъявляются к стали используемой для изготовления изделий методом холодной штамповки?

3. В чем особенность химического состава коррозионностойких сталей?

4. Приведите марки и химические составы каких-либо рессорно-пружинных и подшипниковых сталей.
5. Как содержание углерода в стали влияет на ее свойства?
6. Приведите несколько марок и химические составы сталей для режущего инструмента?
7. Приведите марку стали для инструмента, используемого при обработке изделий на больших скоростях резания. Каково основное достоинство таких сталей?
8. Приведите по 1-2 марки инструментальных сталей для холодного и горячего деформирования металлов, расшифруйте их?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

Тема: «Анализ марок сталей и определение их физических и химических свойств»

Цель: развитие умений анализировать, расшифровывать марки сталей, определять их физические и химические свойства»

Оборудование: учебник «Материаловедение», справочная литература.

Справочный материал.

Классификация сталей по назначению определяет возможность использования той или иной стали для конкретных изделий. Основой такой классификации является зависимость механических свойств сталей от содержания углерода, показанная на рис. 1. Видно, что достоинством сталей с большим содержанием углерода ($0,7\% \text{C}$) является высокая твердость, поэтому такие стали относятся к группе инструментальных (т.к. основное требование для большинства видов инструмента – именно высокая твердость). Кроме высокой твердости инструментальные стали должны быть износостойкими, в отдельных случаях красностойкими (сохранять высокую твердость при повышении температуры).

Конструкционные стали

Конструкционные стали используют для разнообразных по назначению изделий, работающих при сложных, в том числе, динамических нагрузках. Такие стали должны обладать оптимальным сочетанием прочности и ударной вязкости, поэтому, в основном, это мало – и среднеуглеродистые стали.

Содержание углерода в конструкционных углеродистых сталях обыкновенного качества (Ст1, Ст3пс, Ст6 и т.д) изменяется от ($0,1\%$ до $0,5\%$ и в среднем возрастает с увеличением цифры от 1 до 6 в марке (соответственно изменяются свойства согласно рис. 1). Эти стали применяют в сварных, клепаных, соединенных болтами металлических конструкциях и сооружениях, а также для изготовления слабонагруженных деталей машин.

Углеродистые стали обыкновенного качества обозначают буквами

Ст и цифрами от 0 до 6. Цифры—это условный номер марки. Чем больше число, тем больше содержание углерода, выше прочность и ниже пластичность.

Перед символом Ст указывают группу гарантированных свойств: А, Б, В. Если указание о группе отсутствует, значит предполагается группа А. Например, Ст3; БСт4; ВСт2.

Свариваемость одно из главных технологических требований, предъявляемых к строительным сталям, так как большинство строительных конструкций сварные. Свариваемость зависит в первую очередь от содержания в стали углерода. С увеличением содержания углерода свариваемость ухудшается. Поэтому хорошо свариваются стали с низким содержанием углерода ($\text{C} < 0,220,25\%$).

Для строительных конструкций и машин, эксплуатируемых в северных районах, где температура зимой бывает ниже 40 °С, большое значение имеет температура перехода стали в хрупкое состояние (порог хладноломкости). Эта температура для кипящей стали выше, чем для спокойной (это объясняется повышенным содержанием вредных примесей P, S, O, N в кипящей стали). Полуспокойная сталь занимает по склонности к хладноломкости промежуточное положение между кипящей и спокойной. Поэтому строительные конструкции и машины северного исполнения необходимо изготавливать из спокойной стали.

Углеродистые конструкционные качественные стали.

Низкоуглеродистые стали 05 кп; 0,8; 08 кп; 10 и 10кп обладают малой прочностью и высокой пластичностью. Их применяют без термической обработки для изготовления малонагруженных деталей (шайб, прокладок и др.), элементов сварных конструкций, изготавливаемых холодной деформацией.

Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50, 55 применяют после нормализации, термического улучшения, поверхностной закалки. Эти стали по сравнению с низкоуглеродистыми обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью. После термического улучшения достигается наилучшее сочетание механических свойств. После поверхностной закалки сталей 40, 45, 50 обеспечивается высокая поверхностная твердость деталей (HRC 4058) и сопротивление износу. Среднеуглеродистые стали применяют для изготовления самых разнообразных деталей во всех отраслях машиностроения.

Стали с высокой концентрацией углерода 60, 65, 70, 75, 80, 85 используют в основном как рессорно-пружинные. В нормализованном состоянии эти стали также применяют для прокатных валков, шпинделей станков и других крупных деталей.

Достоинствами углеродистых качественных сталей являются дешевизна и технологичность. Однако вследствие малой прокаливаемости углеродистые стали не обеспечивают требуемого комплекса механических свойств в деталях сечением более 1520мм.

Автоматные стали (А15, А20) это стали, обладающие высокой обрабатываемостью резанием. Они предназначены для массового изготовления деталей на металлорежущих станках автоматах. Для улучшения обрабатываемости резанием в стали вводят повышенное по сравнению с обычными углеродистыми сталями количество серы и фосфора. При обработке резанием богатых серой и фосфором сталей образуется короткая и ломкая стружка, условия резания облегчаются, так как стружка легко отделяется, устраняется налипание обрабатываемого материала на инструмент. Поверхность обрабатываемой детали получается гладкой, что особенно важно для деталей с мелкой резьбой (болтов, гаек, винтов и других деталей.)

Применение низколегированных строительных сталей, обладающих повышенной прочностью и пониженной склонностью к хрупкому разрушению по сравнению с углеродистыми, позволяет уменьшить массу строительных конструкций и повысить их надежность. Химический состав сталей и нормы

механических свойств определяются соответственно ГОСТ 1928173 и ГОСТ 19282 – 73. 09Г2, 09Г2С, 15ГФ, 15ХСНД – типичных низколегированных сталей повышенной прочности.

Высокопрочные стали представляют особый интерес, потому что, имея наиболее высокую прочность, они в то же время обладают малой склонностью к хрупкому разрушению. Типичным представителем такой стали является 08Г2МФБ (0,08 % С; ~1,6 % Мп; -0,2 % Мо; -0,06 % V; -0,05 % Nb). Пониженное содержание углерода (до 0,10 %), способствует в структуре этих сталей уменьшается количество перлита. Это приводит к повышению ударной вязкости стали, снижению порога хладноломкости и улучшению свариваемости (например, сталь 09ГФБ с 0,09% С). В машиностроении большое количество деталей, изготавливают из листовой стали методом холодной штамповки. Для холодной штамповки преимущественно применяют тонколистовую холоднокатаную качественную низкоуглеродистую сталь 08кп. Стали 08кп, 08Ю, 08Фкп используют в машиностроении для холодной штамповки деталей сложного профиля, от которых не требуется высокой прочности (например, детали кузова автомобиля). Для штамповки более простых деталей могут быть использованы стали 10кп, 15кп, 20кп, а также полуспокойные и спокойные стали тех же марок.

Цементуемые стали применяют для изготовления деталей, работающих на износ и подвергающихся действию переменных и ударных нагрузок.

Примеры обозначения и расшифровки

1. Сталь 25 – сталь конструкционная низкоуглеродистая, качественная, содержащая углерода 0,25%.
2. Сталь 60Г – сталь конструкционная среднеуглеродистая, качественная, содержащая углерода 0,6%, марганца 1%.
3. А13 – сталь автоматная, низкоуглеродистая, содержащая 0,13 % углерода.

Легированные конструкционные стали.

Хромоникелевые стали 20ХН, 12ХНЗА, 20ХНЗА, 20Х2Н4А и др. применяют для изготовления деталей средних и больших размеров, работающих на износ при высоких нагрузках (зубчатые колеса, шлицевые и другие валы, поршневые пальцы и др.). Они являются лучшими конструкционными сталями, но из-за дефицитности никеля их применение ограничено. Во всех случаях, когда это возможно, хромоникельные стали заменяют безникелевыми.

Хромомарганцовистые стали с небольшими добавками (0,030,09 %) титана (18ХГТ; 25ХГТ; 30ХГТ) или 0,200,30 % молибдена (25ХГМ) экономнолегированны и их широко используют для замены хромоникелевых сталей. Вместо никеля в них введен марганец. Стали 18ХГТ и 30ГТ используют для замены стали 12Х2Н4А.

Хромоникельмолибденовую (вольфрамовую) сталь 18Х2Н4МА (18Х2Н4ВА)

применяют для изготовления наиболее ответственных высоконагруженных деталей.

Стали, подвергаемые термическому улучшению закалке и высокому отпуску, обеспечивающему получение структуры сорбит отпуска, широко применяют для изготовления разных деталей, работающих в сложных напряженных условиях (при действии разнообразных нагрузок, в том числе переменных и динамических).

Улучшаемые стали среднеуглеродистые. Нелегированные стали 35, 40, 45 дешевы. Легированные улучшаемые стали применяют для более крупных и более нагруженных ответственных деталей.

Хромокремнистые и хромокремнемарганцевые стали 33ХС, 38ХС, 25ХГСА, 30ХГСА, 35ХГСА и др. не содержат дорогих элементов, обладают высокой прочностью и умеренной вязкостью. Широко распространенной сталью, особенно в авиационной промышленности, является сталь 30ХГСА (хромансиль), обладающая хорошей свариваемостью. Из этой стали изготавливают стыковочные сварные узлы, кронштейны, крепежные и другие детали. Стали хромансиль могут заменять более дорогие хромоникелевые и хромомолибденовые стали.

Хромоникелевые стали 40ХН, 45ХН, 50ХН, 30ХНЗА обладают хорошим сочетанием прокаливаемости и вязкости (влияние никеля). Они прокаливаются в сечениях до 4050 мм, а сталь 30ХНЗА до 100 мм.

Пружины и рессоры изготавливают из углеродистых (0,650,85 % С) и легированных (0,50,7 % С) конструкционных сталей 65, 85, 65Г, 60С2.

Наиболее высокими механическими свойствами обладают стали марок: 50ХФА, 70СЗА, 60С2ХА, 60С2Н2А.

Шарикоподшипниковые стали составляют особую группу конструкционных сталей. Характерным для них является высокое содержание углерода (~1 %) и наличие хрома. Шарикоподшипниковые стали должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, высокой прочностью и иметь высокий предел выносливости, так как детали подшипника (шарики, ролики, кольца) воспринимают значительные знакопеременные нагрузки. Для подшипников применяют следующие марки стали: ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ.

Стали, обладающие высоким сопротивлением электрохимической коррозии, называются коррозионностойкими (нержавеющими). Основными легирующими элементами, обеспечивающими коррозионную стойкость сталей, являются хром и никель.

Хромистые коррозионностойкие стали содержат от 13 до 30 % хрома. Это обеспечивает им высокую коррозионную стойкость во влажной атмосфере, водопроводной и речной воде, удовлетворительную стойкость в азотной кислоте и ряде других агрессивных сред. С повышением содержания хрома круг сред, в котором хромистая сталь сохраняет коррозионную стойкость, расширяется.

Стали 12Х13 и 20Х13 являются хорошим конструкционным коррозионностойким материалом для работы в условиях ударного нагружения, для работы с нагревом до 450-550 °С. Из них изготавливают клапаны

гидравлических прессов, лопатки гидравлических и паровых турбин, предметы домашнего обихода и пр.

Сталь 12Х17 и подобные ей стали применяют для изготовления технологического оборудования в химической (для производства азотной кислоты) пищевой и легкой промышленности. Она может также использоваться как окалиностойкая (до 900 °С). Хромоникелевые коррозионностойкие стали обладают более высокой коррозионной стойкостью по сравнению с хромистыми сталями. Особенно хорошо они сопротивляются коррозии в атмосферных условиях, в том числе и в загрязненной атмосфере промышленных районов, содержащей сернистые газы. Никель повышает коррозионную стойкость сталей во многих органических кислотах и в H₂SO₄. В эту группу входят стали 12Х18Н9Т, 08Х18Н10, 08Х18Н10Т.

Для изготовления различного рода высокотемпературных установок, деталей печей и газовых турбин применяют жаростойкие ферритные (12Х17, 15Х25Т и др.) и аустенитные (20Х23Н13, 12Х25Н16Г7АР, 36Х18Н25С2 и др.) стали, обладающие жаропрочностью.

Жаропрочные стали благодаря сравнительно невысокой стоимости (по сравнению со стоимостью других жаропрочных сплавов) широко применяют в высокотемпературной технике. Для выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания применяют хромокремнистые стали мартенситного класса, получившие название силхромов. Наиболее известны силхромы 40Х9С2 и 40Х10С2М (0,70,9 % Мо). Аустенитные жаропрочные стали со структурой твердых растворов, например 10Х18Н12Т, 08Х15Н24В4ТР, 09Х14Н18В2БР, предназначенные для изготовления пароперегревателей и турбоприводов силовых установок высокого давления, работающих при 600-700 °С

Примеры обозначения и расшифровки

1. А12ХН – сталь автоматная легированная, низкоуглеродистая, содержащая 0,12 % углерода, до 1% хрома и никеля.
2. 40ХГТР – сталь конструкционная, легированная, качественная, содержащая 0,4% углерода и по 1% хрома, марганца, титана, бора, остальное железо и примеси.

Инструментальные стали

Инструментальными называют углеродистые и легированные стали, обладающие высокой твердостью (60-65 HRC), прочностью и износостойкостью и применяемые для изготовления различного инструмента.

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 143574) производят качественными: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13, и высококачественными У7А, У8А, У9А, У13А. Эти стали применяют для изготовления мелких инструментов с поперечным сечением до 25мм с незакаленной сердцевиной.

Примеры обозначения и расшифровки

1. У12 – сталь инструментальная, высокоуглеродистая, содержащая 1,2% углерода, качественная.

2.У8ГА – сталь инструментальная, высокоуглеродистая, содержащая 0,8% углерода, 1% марганца, высококачественная

3.У9А – сталь инструментальная, высокоуглеродистая, содержащая 0,9% углерода, высококачественная

Легированные инструментальные стали глубокой прокаливаемости (Х, 9ХС, ХВГ) обладают более глубокой прокаливаемостью по сравнению с углеродистыми и низколегированными сталями. Поэтому из этих сталей изготавливают крупный режущий инструмент.

Наибольшую прокаливаемость имеют стали, легированные несколькими элементами: хромом, марганцем, кремнием, вольфрамом. К сталям глубокой прокаливаемости относятся также высокохромистая 9Х5ВФ и сложнолегированная 8Х4В3М3Ф2, обладающие повышенной устойчивостью к нагреву

Сталь 9Х5ВФ применяют для изготовления ножей для фрезерования древесины и другого деревообрабатывающего инструмента.

Сталь 8Х4В3МФ2 относится к полутеплостойким сталям. Ее применяют для изготовления деревообрабатывающего инструмента, способного работать при повышенных скоростях резания в условиях, когда происходит разогрев режущей кромки

Быстрорежущие стали предназначены для изготовления различного рода режущего инструмента, работающего с большими скоростями резания в тяжелых тепловых условиях.

Стали, легированные вольфрамом и молибденом и с небольшим содержанием ванадия (12 %): Р18, Р12, Р9, Р6М5, сохраняют высокую твердость (не ниже HRC 60) при нагреве до 620 °С.

Стали для штампов холодного деформирования (для инструмента деформирующего металл в холодном состоянии).

Для обработки малопрочных материалов используют стали У10, У11, У12.

Более крупные и сложные по форме штампы, предназначенные для работы в более тяжелых условиях, изготавливают из легированных сталей повышенной прокаливаемости (Х, ХВГ, ХВСГ, 7ХГ2ВМ и др.).

Сталь 7ХГ2ВМ сочетает глубокую прокаливаемость (в сечениях диаметром до 100125 мм) с небольшими объемными изменениями при закалке.

Для изготовления инструмента, который должен иметь высокую твердость и повышенную износостойкость, а также малую деформируемость при закалке (дыропрошивные матрицы и пуансоны, матрицы глубокой высадки листового металла, матрицы и пуансоны глубокой высадки вырубных и просечных штампов сложной конфигурации и др.), применяют стали высокой прокаливаемости и износостойкости (ГОСТ 595073). Наиболее широко применяемые стали этой группы – высокохромистые стали Х12М и Х12Ф1 по своей природе близки к быстрорежущим.

Для инструментов, работающих с большими ударными нагрузками (пневматические зубила, ножи для холодной резки металла, обжимные матрицы и др.), применяют стали повышенной вязкости. В эту группу входят хромокремнистые стали (4ХС, 6ХС) и стали, дополнительно легированные

вольфрамом: 4XB2C, 5XB2C, 6XB2C. Повышение вязкости достигается снижением содержания в сталях углерода (0,40,6 %).

Стали для штампов горячего деформирования (для инструмента, деформирующего металл в горячем состоянии).

К инструменту, деформирующему металл в горячем состоянии, относятся штампы для кузнечного производства; которые деформируют металл, предварительно нагретый до высоких температур (1000-1150°C). В процессе работы штампы подвергаются воздействию сложных напряжений (сжатию, растяжению, изгибу) и истирающему действию горячего металла. Кроме того, при пластической деформации рабочая часть штампа значительно нагревается. Поэтому сталь для изготовления кузнечных штампов должна иметь высокие механические свойства (прочность, вязкость, износостойкость), не только при обычных, но и при повышенных температурах, т. е. быть теплоустойчивой.

Молотовые штампы, для которых характерны большие размеры, работают со значительными ударными нагрузками при умеренном разогреве рабочих поверхностей (примерно до 400 °C). Их изготавливают из полутеплостойких сталей 5XHM, 5XGM, 5XHB, 5XHBC

Стали повышенной теплоустойчивости сохраняют высокую прочность и износостойкость до температуры ~700 °C, но уступают сталям с 5 % Cr по вязкости и разгаростойкости. Теплоустойчивость возрастает наиболее значительно при увеличении содержания в стали вольфрама до 8 %. Вольфрам может быть частично заменен молибденом. Широко распространенной сталью повышенной теплоустойчивости является сталь 3X2B8Ф. В группу сталей повышенной теплоустойчивости входят также стали: 4X2B5МФ, 5X3B3МФС и др.

Измерительный инструмент изготавливают из различных углеродистых и легированных сталей. Для простых по форме измерительных инструментов небольшой точности применяют инструментальные углеродистые стали. Длинные и плоские инструменты (измерительные скобы, шаблоны, линейки и пр.) изготавливают из листовой стали 15, 20, 20X, 15X, 12XНЗА, подвергаемой цементации с последующей закалкой и отпуском. Эти же инструменты получают из среднеуглеродистых сталей 50, 55, закаливаемых в рабочей части с нагревом током высокой частоты и подвергаемых затем низкотемпературному отпуску.

Для изготовления калибров, измерительных плиток и других подобных инструментов наиболее широко применяют заэвтектоидные низколегированные стали X (0,95-1,1 % C, 1,31,65 % Cr) и 12X1 (1,15-1,25 % C, 1,3-1,65 % Cr), обрабатываемые на высокую твердость (не менее HRC62).

Примеры обозначения и расшифровки

P9 – сталь легированная инструментальная, быстрорежущая, содержит 9% вольфрама

Порядок выполнения работы:

Задание 1. Какой химический состав имеют следующие материалы:

08Х13, У7А, ВК3, У10, ЧН20Д2ХШ, 8ХФ, Р18, 12Х18Н9Т, У8Г, 5ХФА, У9, 7ХФ, ТТ6К12, У11А, СЧ45, Р9, 8Х4В3МФ2.

Задание 2. Распределить стали по химическому составу, назначению и качеству в соответствии с их классификацией по предложенной схеме

| | | | |
|--|--------------------|-----------------|--------------------|
| 08, ВСт3, 17Х18Н9, У8А, Р18, 05Х2Н4, А13, Р6М5, БСт5пс, А12Г, У13, 40ХС, ХВГ, 5ХВГ, 8ХФ, У7, 9ХВСГ, У12А, 30ХНМА, Р8, Х12, 85, У8ГА, Р12, 15Х11МФ, Ст3кп | | | |
| Углеродистая | | на | |
| Конструкционная | Инструментальная | Конструкционная | Инструментальная |
| | | | |
| Качественная | Высококачественная | Качественная | Высококачественная |
| | | | |

Задание 3. Выберите из предложенных марку стали для изготовления дешевых сварных строительных конструкций и марку стали для изготовления конструкций повышенной прочности в местности, где температура зимой достигает до минус 40 град.

Ст2, Ст2кп, 10, 30, У10, 09Г2.

Задание 4. Выберите из предложенных марку стали для изготовления средненагруженных деталей установки, работающей в условиях закрытого помещения, и для установки, работающей в контакте с агрессивными средами, в том числе и с органическими кислотами.

40, 40Х13, 08Х18Н10, 12Х1.

Задание 5. Выберите из предложенных марку стали для изготовления инструмента небольшого сечения для обработки малопрочных материалов, подвергающегося ударным нагрузкам, и для инструмента, работающего с большими скоростями резания в тяжелых тепловых условиях.

У7, У13, 9Х2С, Р18, 70, 40Х.

Контрольные вопросы

1. Что такое сталь, ее характеристики?
2. Как классифицируются стали по химическому составу?
3. Как классифицируются стали по содержанию углерода?
4. Как классифицируются стали по степени раскисления?
5. Как можно подразделить стали по назначению?
7. Как маркируются углеродистые конструкционные стали?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7

Тема: «Определение электрической прочности трансформаторного масла»

Цель: знакомство с методами испытаний трансформаторного масла, изучение стандартного метода определения пробивного напряжения масла и зависимости напряжения пробоя масляного промежутка от расстояния между электродами.

Оборудование: установка АИМ-90.

Справочный материал.

Трансформаторное масло получают из нефти путем ее ступенчатой перегонки с выделением и последующей переработкой первой масляной фракции. Это слабвязкая, практически нейтральная жидкость желтого цвета, по химическому составу представляющая собой смесь различных углеводородов, преимущественно предельных.

Трансформаторное масло используют для заливки трансформаторов, выключателей, высоковольтных вводов, где оно обеспечивает более высокую электрическую прочность промежутков между токоведущими частями по сравнению с воздушной изоляцией, а также служит теплоносителем для охлаждения нагреваемых частей. Наиболее важной электрической характеристикой масла является поэтому электрическая прочность, где $U_{пр}$ – пробивное напряжение, h – расстояние между электродами. В технически чистых диэлектриках решающее влияние на электрическую прочность масла оказывают примеси: пузырьки газа, коллоидные частицы, капельки воды, твердые примеси. Газовые пузырьки имеют меньшую электрическую прочность, поэтому ионизация в них начинается при сравнительно небольших напряжениях, происходит рост пузырьков и пробой по ним. Жидкие и твердые примеси под действием сил электрического поля скапливаются в местах с наиболее высокой напряженностью поля, искажают поле и снижают пробивное напряжение. Поскольку при этом пробой определяется в основном тепловыми процессами, на переменном напряжении пробивным напряжением считают действующее значение напряжения.

Электрическая прочность трансформаторного масла с увеличением расстояния между электродами снижается, как и у воздуха. Также понижается электрическая прочность и с увеличением степени неоднородности электрического поля.

Описание экспериментальной установки

Каждая партия трансформаторного масла, поступившего на ремонтный завод или энергохозяйство железной дороги, перед заливкой в оборудование подвергается испытаниям по показателям, приведенным в табл. 1, кроме пункта 3. После монтажа оборудования перед его включением под напряжение из него отбирается проба масла и подвергается сокращенному анализу в объеме,

предусмотренном в пунктах 1-6 табл. 1, а для оборудования 110 кВ и выше, кроме того, – по пункту 10 табл. 1.

В процессе эксплуатации электрооборудования в сроки, предусмотренные правилами технической эксплуатации, производится испытание пробы масла в объеме, предусмотренном пунктами 1-6 и 10 табл. 1. Значения показателей, полученные при испытаниях, должны быть не ниже приведенных в табл. 1.

Таблица 1 Предельно допустимые величины показателей качества трансформаторного (нефтяного) масла

| Показатели качества | Свежее сухое масло перед заливкой | Масло после заливки в оборудование | Масло в процессе эксплуатации |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Среднее значение пробивного напряжения масла в стандартном сосуде, кВ, не менее: | | | |
| в оборудовании напряжением до 15 кВ | 30 | 25 | 20 |
| выше 15 до 35 кВ | 35 | 30 | 25 |
| от 60 до 220 кВ | 45 | 40 | 35 |
| от 330 до 500 кВ | 55 | 50 | 45 |
| 2. Содержание механических примесей | отсутствие (визуально) | отсутствие (визуально) | отсутствие (визуально) |
| 3. Содержание взвешенного угля | | | |
| в трансформаторах | - | - | - |
| в выключателях | - | - | незнач. |
| 4. Кислотное число, мг КОН, не более | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 5. Реакция водной вытяжки | нейтраль | нейтраль | нейтраль |
| 6. Температура вспышки, °С, не ниже | 135 | 135 | 130 |
| 7. Вязкость кинематическая, мм ² /с, | | | |
| не более при 20°С | 28 | 23-28 | - |
| при 50°С | 9.0 | 8-9 | - |
| 8. Температура застыв., °С, не выше | минус 45 | - | - |
| 9. Прозрачность при +5°С | прозрач. | прозрач. | прозрач. |
| 10. tg δ при напряженности электрического поля 1 кВ/мм, % при 20°С | 0.2 | 0.4 | 2 |
| при 70°С | 1.5 | 2.0 | 7 |

При измерении пробивного напряжения приходится учитывать статистический характер пробоя масла, при котором по одному измерению невозможно сказать, каким будет следующее значение пробивного напряжения, то есть невозможно предсказать поведение масла в оборудовании. В таких ситуациях отыскивают и измеряют более стабильные характеристики, которые сохраняют свои значения в будущем. К таким характеристикам относится математическое ожидание стационарной случайной величины. Стационарной

называют как раз такую случайную величину, которая и сохраняет во времени характер своей случайности, в частности, сохраняет во времени математическое ожидание, которое является серединой, средним значением при очень большом числе измерений. Реально можно говорить только о некотором приближении к измерению математического ожидания путем вычисления среднего значения случайной величины по ряду ее измерений.

В случае пробивного напряжения трансформаторного масла так и поступают: измеряют среднее значение из нескольких пробивных напряжений. Вопрос о том, сколько надо произвести пробоев масла, решается с учетом разбросов пробивных напряжений, да еще и с контролем этих разбросов. Порядок определения пробивного напряжения регламентируется ГОСТ 6581-75 следующим образом.

1. Визуально устанавливают наличие или отсутствие воды в пробе масла; если в пробе обнаружены капельки влаги, определение пробивного напряжения не производят и качество масла квалифицируют как неудовлетворительное.

2. Сосуд с пробой масла, имеющего температуру 15-35°C, несколько раз осторожно переворачивают вверх дном с тем, чтобы содержащиеся в пробе случайные загрязнения равномерно распределялись по всему объему жидкости, а затем, сполоснув измерительную ячейку, заполняют ее маслом, следя за тем, чтобы не образовывались пузырьки воздуха и электроды покрылись слоем масла не менее чем на 15 мм.

3. Выдерживают залитое масло в течение 10 мин и осуществляют шесть последовательных пробоев с интервалом между каждым из них, равным 5 мин.

4. Вычисляют среднее арифметическое пробивного напряжения

$$U_{np.cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{np.i}$$

и среднюю квадратическую ошибку (среднего пробивного напряжения)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (U_{np.i} - U_{np.cp})^2},$$

где $U_{np.i}$ – величина пробивного напряжения при i -том пробое,
 n – число пробоев (шесть).

$$\nu = \frac{\sigma}{U_{np.cp}} \cdot 100\%$$

Если значение коэффициента вариации превышает 20%, то дополнительно проводят еще одно заполнение испытательной ячейки порцией масла из того же сосуда с пробой масла (после перемешивания по пункту 2) с добавочной серией из шести пробоев масла в ячейке, а для расчета число пробоев берут равным 12. Если и в этом случае коэффициент вариации превышает 20%, качество масла считают неудовлетворительным.

Для измерения пробивного напряжения трансформаторного масла в лабораторной работе используют установку АИМ-90 или установку WROT 0.25/75. Упрощенная схема установки АИМ-90 приведена на рис. 1, схема установки WROT 0.25/75 в главных чертах схожа со схемой АИМ-90.

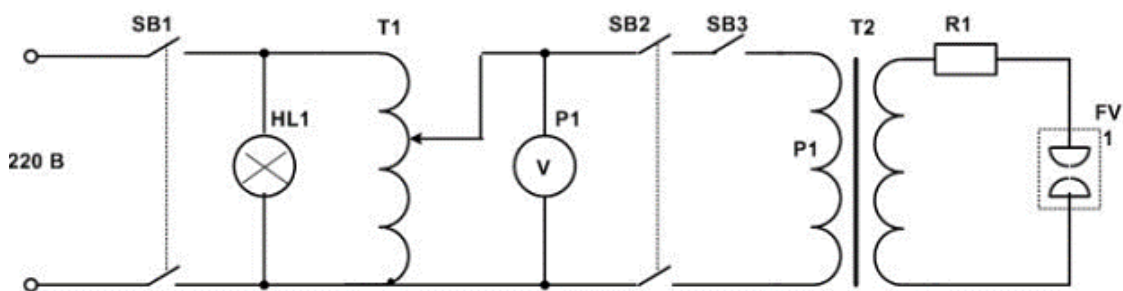


Рис. 1

Упрощенная схема установки АИМ-90

Источником высокого напряжения установки АИМ-90 служит испытательный трансформатор Т2 с регулятором напряжения Т1. Для защиты обмоток трансформатора от перегрузок при пробое служит автоматический выключатель SB3 и защитный резистор R1. Стандартная измерительная ячейка установки состоит из сосуда для жидкости и электродов. Электроды имеют форму шарового сегмента с зазором между ними 2.5 ± 0.05 мм.

Внешний вид установки АИМ-90 показан на рис. 2, где обозначено: 1 – выключатель сети, 2 – сигнал включения сети, 3 – кнопка возврата в нулевое положение, 4 – сигнал готовности схемы к включению высокого напряжения, 5 – кнопка включения высокого напряжения, 6 – сигнал включения высокого напряжения, 7 – измерительный прибор, 8 – кнопка прерывания подъема высокого напряжения (то есть остановки двигателя, перемещающего подвижный контакт автотрансформатора), 9 – кнопка автоматического возврата регулятора напряжения в нулевое положение после пробоя масла.

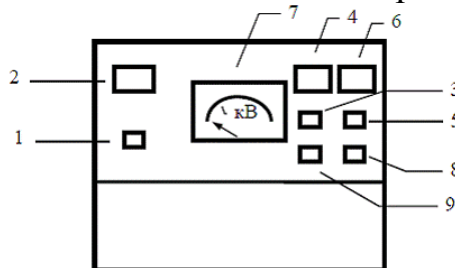


Рис. 2

Работа на установке АИМ-90 производится в следующем порядке:

1. Проверить заземление корпуса аппарата. После допуска к работе открыть крышку, установить ячейку с маслом и закрыть крышку. Остальные операции проводить, стоя на диэлектрическом коврике и надев диэлектрические перчатки.

2. Включить сетевую вилку в розетку и включить кнопку сети 1. При этом должна загореться подсветка 2.

3. Включить кнопку 3 для возврата стрелки прибора в нулевое положение, если при включении она стояла не на нуле. После возврата стрелки в нуль должна загореться подсветка желтого сигнала 4.

4. Включить кнопку 9 для подготовки автоматического возврата стрелки после каждого пробоя масла.

5. Громко объявить: «Включаю высокое напряжение!» - и нажать кнопку включения высокого напряжения 5. Должна загореться подсветка красного

сигнала и погаснуть подсветка желтого сигнала. Вольтметр в момент пробоя покажет величину пробивного напряжения масла.

6. После возврата стрелки вольтметра в нулевое положение и загорания желтого сигнала отключить сетевой выключатель. Открыть крышку прибора и из зазора между электродами при помощи чистой сухой стеклянной палочки осторожно удалить твердые продукты разложения, избегая возникновения пузырьков воздуха в масле.

7. Не следует прерывать повышение испытательного напряжения при проведении испытаний. Не следует допускать подъема напряжения выше 90 кВ (для установки WPOT 0.25/75 – 75 кВ).

8. Запрещается включение высокого напряжения, если в аппарат не вставлена измерительная ячейка с трансформаторным маслом.

Установка WPOT 0.25/75 отличается от АИМ-90 отсутствием сетевого выключателя SB1 и отсутствием кнопок включения возврата регулятора в нулевое положение. Функции кнопок 5 и 8 установки АИМ-90 здесь выполняет одна кнопка.

Порядок выполнения работы:

Задание 1. Произвести стандартные измерения пробивного напряжения трансформаторного масла. Результаты измерений занести в самостоятельно подготовленную таблицу. На основании измерений определить, на какое рабочее напряжение может быть использовано испытуемое масло.

Задание 2. С помощью измерительной ячейки с незакрепленными стандартными электродами измерить пробивное напряжение масла при расстояниях между электродами 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 мм или близких к ним. Расстояния устанавливать по выданным шаблонам. При каждом расстоянии произвести по три пробоя с интервалом между ними в 1 мин. Результаты измерений занести в табл. 2. Построить графики зависимостей пробивного напряжения и электрической прочности от расстояния.

Таблица 2

| № п/п | h , мм | $U1$, кВ | $U2$, кВ | $U3$, кВ | $U_{пр. ср}$, кВ | $E_{пр}$, кВ/мм |
|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|---------------------|
| | | | | | | |

Установить в ячейке вместо одного из электродов стержень и повторить испытания пункта 3.2.

Проанализировать результаты измерений и сделать выводы по полученным результатам.

Контрольные вопросы

1. Назовите цели и задачи работы. Зачем проводят испытания трансформаторного масла?

2. Почему при стандартных испытаниях трансформаторного масла оказывается недостаточно одного пробоя?

3. Какие факторы влияют на электрическую прочность трансформаторного масла?

4. Объясните схему, принцип действия, устройство испытательной установки и порядок работы с ней.

5. Как выглядит стандартная измерительная ячейка?

6. Какие правила безопасности необходимо соблюдать при работе с высоковольтной установкой?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №8

Тема: «Определение электрической прочности твёрдых диэлектриков»

Цель: изучение зависимости электрической прочности на переменном напряжении непровитанного и пропитанного электротехнического картона от числа слоев.

Оборудование: лабораторная установка для испытания диэлектриков

Справочный материал.

При напряженности электрического поля, превосходящей предел электрической прочности диэлектрика, наступает пробой. Пробой представляет собой процесс разрушения диэлектрика, в результате чего диэлектрик теряет электро- изоляционные свойства в месте пробоя.

Напряжение, при котором происходит пробой диэлектрика, называют пробивным напряжением $U_{пр}$, а соответствующее ему значение напряженности электрического поля называется электрической прочностью диэлектрика $E_{пр}$.

Для равномерного электрического поля электрическая прочность диэлектрика определяется по формуле $E_{пр} = U_{пр} / h$, где h - толщина диэлектрика в месте пробоя, м.

Электрическая прочность является одной из основных характеристик электроизоляционного материала. Ею широко пользуются при расчетах и конструировании электрической изоляции машин, трансформаторов, кабелей, конденсаторов и других высоковольтных устройств, а также для оценки их надежности и долговечности.

Различают четыре основных вида пробоя диэлектриков:

1. Электрический пробой;
2. Тепловой пробой;
3. Электрохимический пробой;
4. Ионизационный пробой.

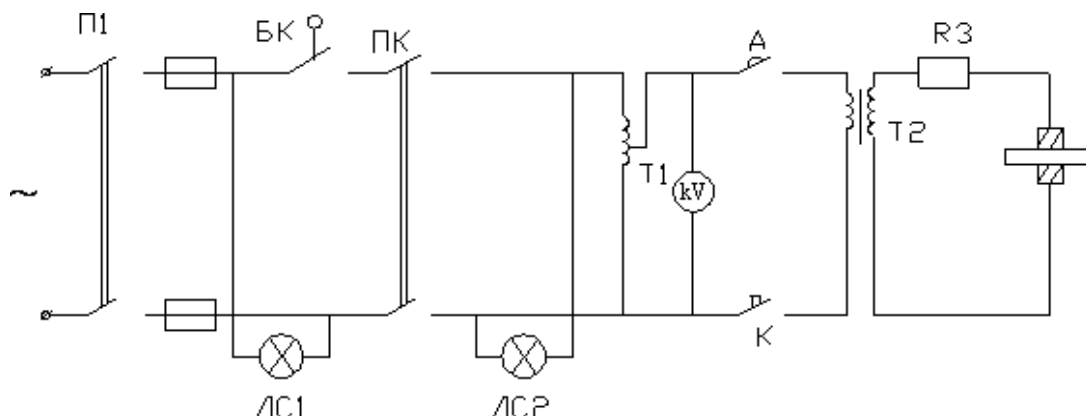
Электрический пробой. Этот вид пробоя представляет собой непосредственное разрушение диэлектрика силами электрического поля. Вторичные процессы (нагрев, химические реакции и т.п.), которые могут происходить в ди- электрике под действием электрического поля и облегчать развитие пробоя, при чисто электрическом пробое не имеют места. Электрический пробой обуславливается ударной ионизацией молекул диэлектрика вследствие взаимодействия с частицами диэлектрика ускоренных электрическим полем свободных заряженных частиц (электронов, ионов). Характерен для газообразных, жидких и твердых диэлектриков.

Для электрического пробоя характерны:

- 1) малое время развития пробоя;
- 2) малая зависимость электрической прочности от частоты приложенного напряжения;
- 3) малая зависимость электрической прочности от температуры.

Электрическая прочность пористого твердого диэлектрика может быть существенно увеличена и другим способом - повышением давления газа в порах или же заменой воздуха на газ с повышенной электрической прочностью.

Материальное обеспечение



Принципиальная схема лабораторной установки для испытания твердых диэлектриков показана на рис. 1.

Рис.1..Принципиальная схема установки для испытания диэлектриков

П1, ПК - рубильники для создания двух видимых разрывов в цепи питания при отключении установки; ЛС1; ЛС2 - лампы сигнальные; одна лампа установлена на пульте управления, а вторая - над дверью ограждения; Т1 - лабораторный автотрансформатор, предназначенный для плавного регулирования подводимого к испытательному трансформатору напряжения; А - автоматический выключатель, отключающий испытательную установку в момент пробоя образца; БК - блокировочный контакт, установлен на двери ограждения и предназначен для разрыва цепи питания трансформатора в случае ошибочного открывания двери ограждения при включенной установке; Т2 - испытательный трансформатор; R3 - защитный водяной резистор, предназначенный для ограничения тока в схеме при пробое испытуемого образца; К - кнопка включения трансформатора Т2. выдерживает образец до пробоя при напряжении 95%, 90%, 85%, 80% от $U_{пр}$. Для этого по вольтметру V при разомкнутой кнопке К выставляется напряжение требуемой величины. Замыканием кнопки К это напряжение подается на образец, одновременно включается секундомер. В ходе выдержки напряжение следует поддерживать постоянным с помощью автотрансформатора Т1.

Порядок выполнения работы:

Задание1. На переменном токе снять зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ для пропитанного и непропитанного электротехнического картона от толщины пакета. Результаты испытаний занести в таблицу:

| Наименование исследуемых величин | Толщина картона | | | | | |
|--|-----------------|----|----|--------------|----|----|
| | непропитанного | | | пропитанного | | |
| | мм | мм | мм | мм | мм | мм |
| U_1 , кВ | | | | | | |
| U_2 , кВ | | | | | | |
| U_3 , кВ | | | | | | |
| $U_{ср}$, кВ | | | | | | |
| E , кВ/м | | | | | | |

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Принципиальную схему лабораторной установки."
2. Таблицы результатов испытаний.
3. График зависимости $E_{np} = f(h)$, $U_{np} = f(U)$. для непропитанного и пропитанного электротехнического картона.
4. График зависимости $U_{np} = f(t)$.

Контрольные вопросы

1. Что называется пробоем, пробивным напряжением и электрической прочностью диэлектрика?
2. Объясните связь между диэлектрическими потерями и тепловым пробоем твердых диэлектриков?
3. Конденсаторную бумагу марок КОН-1 или КОН-2 при изготовлении бумажных конденсаторов пропитывают конденсаторным маслом. Поясните, как изменяются ϵ , $\tan \alpha$ и E_{np} , при пропитке бумажного конденсатора. Почему?
4. Электрические прочности непропитанной конденсаторной бумаги и конденсаторного масла равны 35 и 20 МВ/м соответственно. После пропитки бумаги маслом ее прочность возросла до 50 МВ/м, т.е. стала больше прочности непропитанной бумаги и масла. Почему?
5. Как влияет пористость на электрические свойства диэлектриков: а) диэлектрик сухой; б) диэлектрик увлажнен?
6. Какие электроизоляционные картоны применяются для электрической изоляции, работающей на воздухе и в масле?
7. Объясните, почему в однородном электрическом поле $E_{пр}$ больше, чем $E_{пр}$ в неоднородном поле.
8. Почему пропитанный картон имеет более высокую электрическую прочность, чем непропитанный?
9. Поясните механизм пробоя пропитанного и не пропитанного картона.
10. Какие факторы влияют на величину $E_{пр}$ твердых диэлектриков и почему?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

Тема: «Определение электрической прочности газообразных диэлектриков»

Цель: изучение зависимости электрической прочности на постоянном и переменном напряжениях газообразного диэлектрика от расстояния между электродами разной формы.

Оборудование: лабораторная установка для испытания диэлектриков

Справочный материал.

Значение пробивного напряжения между двумя находящимися в газе электродами и сама картина пробоя сильно зависят не только от химического состава газа, его давления, температуры и расстояния между электродами, но и от формы и размеров электродов, т.е. картины электрического поля в газовом промежутке.

Если электрическое поле является сравнительно равномерным, то при постепенном повышении напряжения сразу, без предварительных разрядов, возникает пробой всего промежутка между электродами в виде искры.

Если же имеем резко неоднородное поле, то при повышении напряжения разряд в газе может сперва возникать лишь в местах с наиболее высокой напряженностью электрического поля (на заостренных или вообще у мест, где электроды имеют наибольшую кривизну), не распространяясь на весь промежуток между электродами. Такой разряд, наблюдаемый в виде голубого свечения и сопровождающийся характерным звуком с жужжанием или потрескиванием, называется коронным разрядом.

Возникновение короны связано:

- 1) с затратой энергии, быстро возрастающей при повышении напряжения;
- 2) с химическими изменениями газа и объема, в котором наблюдается корона.

При дальнейшем повышении напряжения корона занимает все большее пространство и, наконец, происходит искровой или дуговой разряд между электродами, т.е. полный пробой газового промежутка.

Процесс пробоя газообразных диэлектриков начинается с того, что некоторое количество свободных электронов (правда, весьма ничтожное), образовавшихся под действием тех или иных внешних ионизаторов, например, космического излучения, увеличивает свою кинетическую энергию при повышении напряженности электрического поля до момента соударения с молекулой. Если эта энергия достигает значения "порога ионизации" $W_{и}$ требуемого для ионизации молекулы, т.е. ее разделения на положительный ион и электрон, то может иметь место пробой газа, так как вновь образовавшиеся при ударной ионизации заряженные частицы в свою очередь будут разгоняться электрическим полем и ионизировать другие молекулы. Этот процесс будет развиваться до полного пробоя газового промежутка. Рассмотренный выше процесс пробоя за счет ударной ионизации молекул, как уже отмечено,

возможен только при выполнении условия $W > W_n$. Если это условие не выполняется, то возможны:

1. Захват электрона молекулой газа и поглощение избыточной энергии электрона колебательной системой молекулы без возбуждения последней.

2. Диссоциация молекулы газа за счет кинетической энергии электрона, если она превышает энергию диссоциации газа. Электрон, потерявший свою энергию, может оказаться присоединенным к одному из атомов, образовавшихся в результате распада молекулы, или остаться свободным.

3. Возбуждение молекулы (атома), если кинетическая энергия электрона превышает энергию возбуждения молекулы или атома.

В первом и частично во втором случае происходит уменьшение числа свободных электронов в объеме газа. Интенсивность этого процесса характеризуется коэффициентом захвата электронов η .

Возбуждение молекул оказывает существенное влияние на процесс формирования электрического разряда в газовой среде, поскольку возврат возбужденных молекул в нормальное состояние сопровождается излучением фотонов. Энергия фотонов может оказаться больше работы выхода электронов с электрода. При этом с поверхности электродов под действием фотонов выделяется дополнительное количество свободных электронов (фотоэффект с поверхности металла). Кроме того, если энергия фотона превосходит энергию ионизации молекулы (особенно возбужденной) газа, то при поглощении этого фотона молекулой газа происходит выделение из молекулы свободного электрона (фотоионизация газа собственным излучением), что является еще одним источником свободных электронов в объеме газа. Свободные электроны, появляющиеся в газе под действием фотонов, называются вторичными электронами, тогда как вновь образовавшиеся электроны под действием ударной ионизации называются первичными электронами. Интенсивность их образования характеризуется коэффициентом первичной ионизации α , равным числу электронов, освобожденных одним электроном на единицу пути.

Излучение возбужденных молекул часто поглощается газом, что характеризуется коэффициентом поглощения μ_n . Последний увеличивается с повышением плотности и влажности газа.

Таким образом, при приложении напряжения к электродам в промежутке между ними происходит образование новых свободных электронов, поглощение свободных электронов рекомбинация и излучение возбужденных молекул. Интенсивность этих процессов зависит от коэффициентов α , η и μ_n . Если α больше η , то в промежутке между электродами будет быстро увеличиваться число движущихся свободных электронов, называемых лавиной электронов.

Коэффициенты ионизации многих газов α , незначительно различаются между собой, в то время как коэффициенты захвата η различаются весьма сильно. Чем больше разность $\alpha - \eta$, тем больше возникает свободных электронов и тем при меньшей напряженности поля начинается непрерывное увеличение числа электронов в газе. Так, например, для сухого воздуха отношение начальной напряженности к относительной плотности

воздуха

$E_H/\gamma_r = 23.6 \text{ кВ/см}$. Для азота $\eta = 0$, т.к. молекулы азота не могут присоединять к себе

электроны. Поэтому увеличение числа свободных электронов в азоте происходит при меньших 23.6 кВ/см , хотя α для азота меньше, чем для воздуха. В элегазе коэффициент η имеет существенно большее значение, чем в воздухе. Это увеличивает начальную напряженность в элегазе до уровня, при котором $E_H/\gamma_r = 89 \text{ кВ/см}$, т.е. электрическая прочность элегаза оказывается больше, чем воздуха.

Материальное обеспечение

Электрическую прочность воздуха определяют на установке переменного тока промышленной частоты (50 Гц), схема которой изображена на рис. 11.

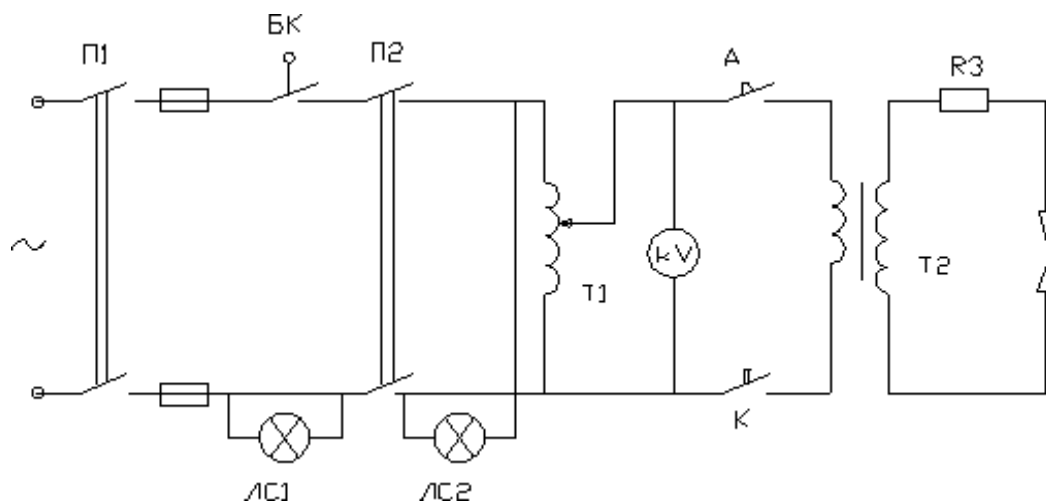


Рис. 11. Принципиальная схема установки переменного тока промышленной частоты (50 Гц):

П1, П2 - рубильники для создания двух видимых разрывов в цепи питания при от-ключении установки; ЛС1, ЛС2 - лампы сигнальные; одна лампа установлена на пульте управления, а вторая - над дверью ограждения, Т1 - лабораторный автотрансформатор, предназначенный для плавного регулирования подводимого к испытательному транс- форматору напряжения; А - автоматический выключатель, отключающий испытатель-

ную установку в момент пробоя образца; БК - блокировочный контакт, установленный на двери ограждения и предназначенный для разрыва цепи питания трансформатора в случае ошибочного открывания двери ограждения при включенной установке; Т2 - испытательный трансформатор; R3 - защитный водяной резистор, предназначенный для ограничения тока в схеме при пробое испытуемого образца; К - кнопка включения трансформатора Т2

Высокое напряжение подается на электроды от повышающего трансформатора Т2. Электродами, между которыми испытывается воздух, в настоящей работе являются шары диаметром 12,5 см. и две иглы. Электроды ук-

репляются на изолирующей конструкции, которая позволяет менять величину пробивного промежутка, не отключая напряжение, и имеет шкалу для отсчета величины приложенного напряжения.

Для определения электрической прочности воздуха на постоянном напряжении используется аппарат АКИ-50 (рис.12).

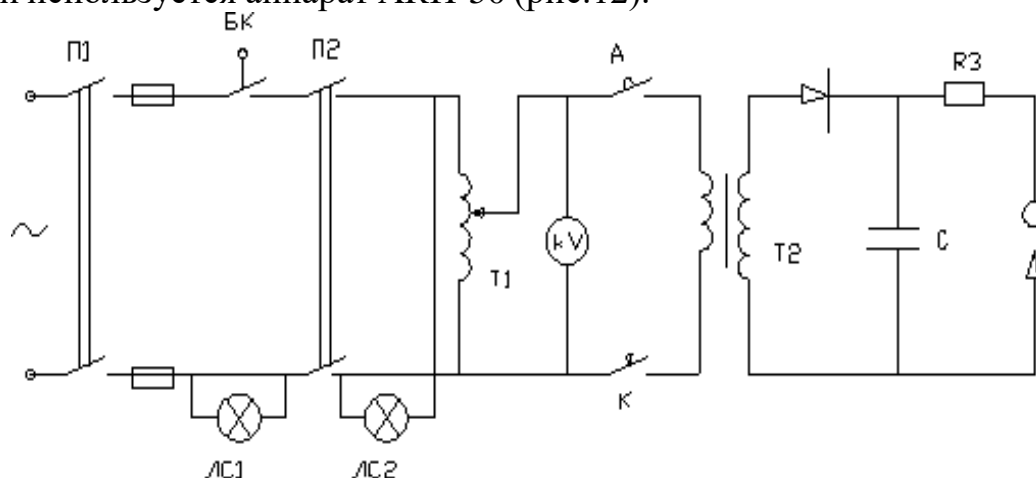


Рис. 12. Принципиальная схема установки АКИ-50 для испытания диэлектриков: П1, П2 - рубильники для создания двух видимых разрывов в цепи питания при отключении ус-

тановки; ЛС1, ЛС2 - лампы сигнальные: одна лампа установлена на пульте управления, а вторая - над дверью ограждения; Т1 - лабораторный автотрансформатор, предназначенный для плавного регулирования подводимого к испытательному трансформатору напряжения; А - автоматический выключатель, отключающий испытательную установку в момент пробоя образца; БК - блокировочный контакт, установленный на двери ограждения и предназначенный для разрыва цепи питания трансформатора в случае ошибочного открывания двери ограждения при включенной установке; Т2 - испытательный трансформатор; Д - диод; R3 - защитный во- дяной резистор, предназначенный для ограничения тока в схеме при пробое испы- туемого образца; К - кнопка включения трансформатора Т2

Аппарат АКИ-50 питается от сети однофазного переменного тока напряжением 125-220 В, имеет выпрямленное напряжение 50 кВ, выпрям- ленный ток 2 мА. Высоковольтный однофазный масляный трансформатор с напряжением первичной обмотки 110 В создает во вторичной обмотке напряжение до 36 кВ.

Выпрямление тока осуществляется кенотроном, который расположен в баке трансформатора. Там же помещен трансформатор накала и буфер-ное сопротивление, которое служит для защиты высоковольтного транс- форматора и кенотрона от перегрузок при пробое воздуха.

Первичная обмотка высоковольтного трансформатора присоединяется к сети через автотрансформатор, позволяющий плавно менять напряжение от нуля до максимального значения. Напряжение измеряется киловольт- метром, включенным в первичную обмотку трансформатора. Вольт- метр отградуирован в киловольтах выпрямленного напряжения при холо- стом режиме аппарата.

Задание

1. На переменном токе снять зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ от растяжения между электродами при следующих формах электродов: (шар-шар); (шар-игла); (игла-игла).
2. На постоянном токе снять зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ от расстояния между шаром и иглой при двух случаях: при положительной полярности шара и отрицательной иглы и наоборот.
3. Заполнить таблицу:

| Наименование исследуемых величин | Род напряжений | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|
| | постоянные | | | | | | | | переменные | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Расстояние между электродами, | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U ₁ , кВ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U ₂ , кВ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U ₃ , кВ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U _{ср} , кВ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E, кВ/м | | | | | | | | | | | | | | | | |

Порядок выполнения работы

Перед началом работы следует ознакомиться с устройством установки. Работа ведется при напряжениях, безусловно, опасных для жизни, и в этой связи требует строгого выполнения правил по технике безопасности.

Перед тем, как войти в помещение высокого напряжения, необходимо обязательно выключить рубильник Ш на стенном щите. Находясь в помещении высокого напряжения, запрещается закрывать дверь -необходимо, чтобы дверной блок-контакт БК был разомкнут. Категорически запрещается закрывать дверь ограждения, если внутри него есть люди.

1. Определение пробивного напряжения между шарами.

К высоковольтным выводам трансформатора (рис.11) подключают шары, закрепленные на изолирующей конструкции. Затем сближают шары до упора так, чтобы показание по шкале этой конструкции соответствовало $h=0$, где h - расстояние между электродами. После этого шары разводят до расстояния $B=5$ мм, выходят из помещения высоковольтного трансформатора и плотно закрывают дверь ограждения с целью получения надежного замыкания блок - контакта. Вольтметр устанавливают в крайнее левое положение (против часовой стрелки). Включают рубильник Ш. Плавно повышают напряжение при помощи автотрансформатора до пробоя.

В момент пробоя воздуха отмечают показания вольтметра, затем устанавливают рукоятку автотрансформатора в крайнее левое положение (против часовой стрелки). Включают автомат (при каждом пробое он автоматически отключается) и снова повышают напряжение. Измерения производят 3 раза и берут среднее значение.

В дальнейшем, повторяя все вышеизложенное, производят пробой воздуха при расстояниях 10, 15, 20, 25 мм. По мере необходимости изменяют пределы вольтметра.

2. Определение пробивного напряжения между шаром и иглой.

На изолирующей конструкции заменяют один из шаров иглой и проводят испытания в последовательности, указанной в п.1, при тех же расстояниях между электродами.

3. Определение пробивного напряжения между иглами.

На изолирующей конструкции закрепляют две иглы и проводят испытания, как указано в п. 1.

Определение пробивного напряжения между шаром и иглой при постоянном напряжении

4. Пробой воздуха при положительной полярности на игле.

При включенном аппарате закрепить электроды на изолирующей конструкции и подключить иглу к положительному выводу аппарата, а шар - к отрицательному.

Сблизить электроды до упора так, чтобы показание по шкале соответствовало $h=0$, и выйти из помещения высоковольтного аппарата, плотно закрыв дверь ограждения. После этого дистанционно, при помощи шнура, развести электроды до расстояния $h=5$ мм, включить установку в сеть напряжением 127-220 В, заведенную через блок - контакты двери ограждения. При этом должна загореться зеленая сигнальная лампа. Включить автоматический выключатель и подать напряжение на трансформатор. При этом должна загореться красная сигнальная лампа. С помощью автотрансформатора изменять напряжение от нуля до пробивного значения со скоростью 1 кВ/с. В момент пробоя срабатывает реле максимального тока и аппарат включается. Рукоятку автотрансформатора немедленно выводят в крайнее левое положение, а величину напряжения при пробое записывают. Измерения производят 3 раза и берут среднее значение.

В дальнейшем, повторяя все вышеизложенное, производят пробой воздуха при расстояниях 10, 15, 20, 25 и 30 мм.

5. Пробой воздуха при отрицательной полярности на игле.

На изолирующей конструкции иглу подключить к выводу аппарата с отрицательной полярностью, а шар к выводу с положительной полярностью и произвести испытания в последовательности, указанной в п. 4, и при тех же расстояниях между электродами.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Принципиальную схему испытательной установки.
2. Описание свойств воздуха и области применения.
3. Результаты наблюдений и вычислений в виде таблицы.
4. Графики зависимостей $U_{пр} = f(h)$ и $E_{пр} = f(h)$

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность процесса ударной ионизации в газах? Какие есть стадии развития электрического пробоя?
2. Как зависит величина $U_{пр}$ и $E_{пр}$ от расстояния между электродами?
3. Как влияет форма электродов на электрическую прочность воздуха?
4. Объяснить механизм эффекта полярности при различных полярностях на электродах типа шар-игла.
5. Что такое искровой, дуговой, тлеющий и коронный разряды?
6. Какие условия перехода разряда из несамостоятельного в самостоятельный?
7. Как влияет частота электрического поля между электродами на электрическую прочность воздуха?
8. Как влияет на электрическую прочность воздуха влажность?
9. Объясните зависимость пробивного напряжения воздуха от давления и расстояния между электродами.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №10

Тема: «Определение поверхностного перекрытия изоляторов»

Цель: изучение и определение сухоразрядного и разрядного напряжения изоляторов разных типов

Оборудование: лабораторная установка переменного напряжения частотой 50 Гц с максимально возможным напряжением при испытаниях до 60 кВ.

Справочный материал.

Исследование явления поверхностного перекрытия сухих изоляторов проводятся на лабораторной установке переменного напряжения частотой 50 Гц с максимально возможным напряжением при испытаниях до 60 кВ. Питание установки осуществляется от сети однофазного переменного напряжения 220 В.

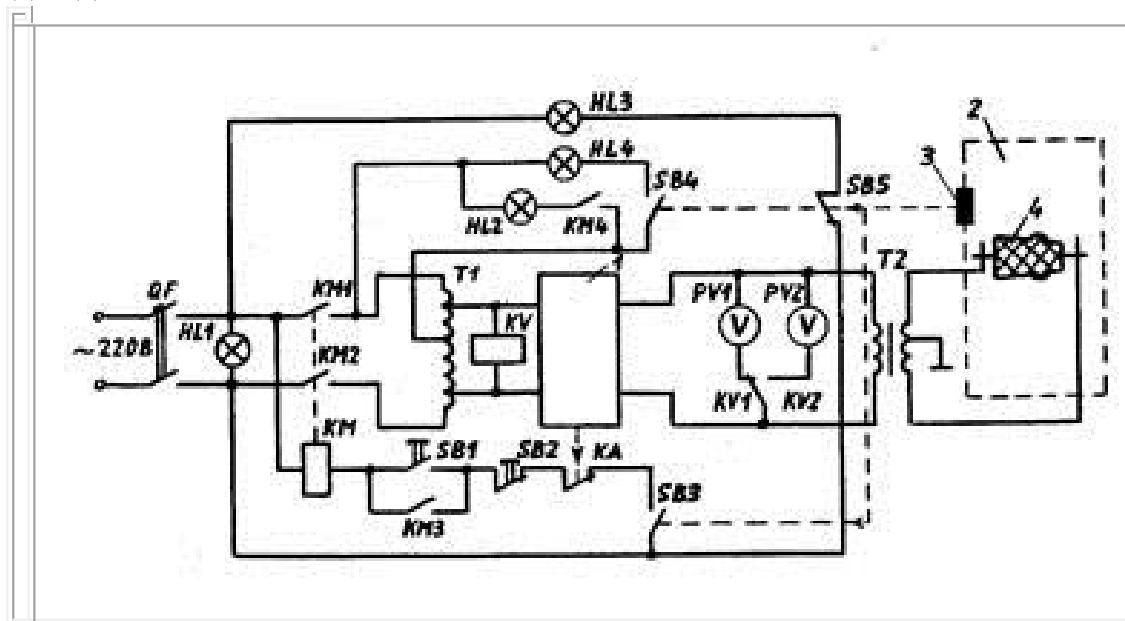
В состав схемы установки входят следующие основные элементы: автоматический выключатель QF, магнитный пускатель КМ, автотрансформатор Т1 (регулятор напряжения), высоковольтный трансформатор Т2, блок максимальной токовой защиты (1), кнопки SB1 и SB2 для включения и отключения магнитного пускателя КМ, контакты КА реле максимальной токовой защиты, киловольтметры PV1 и PV2 с разными пределами измерения, которые переключаются контактами KV1 и KV2 реле напряжения KV (или тумблером SA), сигнальные лампы HL1, HL2, HL3, HL4, контакты SB3, SB4, SB5 блокировочного устройства (3) дверцы испытательной камеры (2), которая содержит выводы высоковольтного трансформатора Т2 для подключения испытываемых изоляторов (4).

Примечание. К самым важным электрическим характеристикам изоляторов высокого напряжения относят значение разрядного напряжения, то есть напряжения, которое, будучи приложенным между электродами изолятора, приводит к возникновению электрического разряда между ними. В преобладающем большинстве случаев этот разряд наступает в виде поверхностного разряда (перекрытия в воздухе) между электродами, так что сам изолятор при кратковременном разряде не повреждается.

Сухоразрядное напряжение – это то значение разрядного напряжения, которое регистрируется при испытании изоляторов в воздухе при нормальных условиях ($P \gg 0,1$ МПа, $t^0 = +20$ °С, абсолютная влажность 11 г/м³).

Мокроразрядное напряжение — это то значение разрядного напряжения, которое регистрируется при испытании изолятора под искусственным "дождем" силой от 4,5 до 5,5 мм/мин. Под силой дождя понимается высота слоя воды, которая набирается в цилиндре определенных размеров под действием «дождя», падающего под углом 45° к горизонтальной плоскости изолятора в рабочем положении. Удельное объемное сопротивление ρ_v воды должно быть в пределах от 90 Ом×м до 110 Ом×м при +20 °С). При этом испытании значительная часть поверхности изолятора оказывается

смоченной водой (см. рис. 2.2), поэтому мокроразрядное напряжение всегда меньше сухоразрядного. Величина мокроразрядного напряжения дает представление о том, как будет вести себя изолятор на открытой электроустановке или на линии электропередачи при эксплуатации под дождем.



Задания для выполнения работы:

Задание 1. Определить сухоразрядные напряжения изоляторов разных типов.

Задание 2. Определить разрядные напряженности изоляторов разных типов.

Контрольные вопросы.

1. Как определить поверхностное перекрытие изоляторов?
2. Что такое сухоразрядное напряжение ?
3. Что такое мокроразрядное напряжение ?
4. На какой установке проводится исследование?

Информационное обеспечение обучения

Печатные и электронные издания

Основные учебные издания:

1. Алексеев, В. С. Материаловедение : учебное пособие для СПО / В. С. Алексеев. — Саратов : Научная книга, 2019. — 159 с. — ISBN 978-5-9758-1894-2.- Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/87077>

2. Земсков Ю. П. Материаловедение: учебное пособие для СПО / Ю. П. Земсков, Е. В. Асмолова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 228 с. — ISBN 978-5-8114-8482-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/176895>.

3. Мельников, А. Г. Материаловедение : учебное пособие для СПО / А. Г. Мельников, И. А. Хворова, Е. П. Чинков. — Саратов : Профобразование, 2021. — 223 с. — ISBN 978-5-4488-0919-4. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование: [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/99930>

4. Материаловедение: учебник для СПО / А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко [и др.]. — Саратов, Москва : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 356 с. — ISBN 978-5-4488-0866-1, 978-5-4497-0618-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/96962.html>.

5. Солнцев, Ю. П. Материаловедение: учебник / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин; под редакцией Ю. П. Солнцева. — 7-е изд. — Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2020. — 783 с. — ISBN 078-5-93808-345-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/97813.html>.

Дополнительные учебные издания:

6. Кузьмин, О. В. Материаловедение: учебное пособие / О. В. Кузьмин, В. И. Новиков. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2020. — 118 с. — ISBN 978-5-9227-1075-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/108048.html>.

7. Морозова, Е. А. Основы металловедения и термической обработки металлов: учебное пособие для СПО / Е. А. Морозова, В. С. Муратов. — Саратов: Профобразование, 2021. — 206 с. — ISBN 978-5-4488-1235-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/106841.html>.

8. Пасютина, О. В. Материаловедение : учебное пособие / О. В. Пасютина. — 2-е изд., испр. — Минск : РИПО, 2020. — 264 с. — ISBN 978-985-7234-48-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/154173>.

9. Сапунов, С. В. Материаловедение: учебное пособие для СПО / С. В. Сапунов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 208 с. — ISBN 978- 5-8114-7909-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.

— URL: <https://e.lanbook.com/book/167188>.

10. Тимофеев, И. А. Электротехнические материалы и изделия: учебное пособие для СПО / И. А. Тимофеев. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 268 с. — ISBN 978-5-8114-6836-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/>.

Интернет ресурсы:

11. Электронно-библиотечная система: <https://profspo.ru/catalog>
12. Лань: электронно-библиотечная система: <https://e.lanbook.com>
13. Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: <https://book.ru>

Электронно-библиотечная система:

14. ЭБС «elibrary», ООО «РУНЭБ»
15. ЭБС «IPRbooks», ООО «Ай Пи Ар Медиа»
16. ЭБС «Лань», ООО «Издательство Лань»
17. ЭБС «PROФобразование»
18. ЭБС «Book.ru»