



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Автотранспортные, строительные и дорожные
средства»

**Методические указания
к выполнению
лабораторных работ
по дисциплине**

**«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»
Часть 1**

Авторы
Евсеев Д. З.,
Котесова А. А.,
Теплякова С. В.,
Недолужко А. И.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Методические указания предназначены для студентов очной формы обучения направлений 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства; 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Авторы

доцент, к.т.н., доцент каф. «АСиДС»
Евсеев Д.З.

к.т.н., доцент каф. «АСиДС»
Котесова А.А

к.т.н., асс. каф. «АСиДС»
Теплякова С.В.

доцент, к.т.н., доцент каф. «АСиДС»
Недолужко А.И.



Оглавление

Лабораторная работа № 1	3
Лабораторная работа № 2	8
Лабораторная работа № 3	14
Лабораторная работа № 4	18
Лабораторная работа № 5	21
ПРИЛОЖЕНИЕ	28

Лабораторная работа № 1

Испытание на растяжение малоуглеродистой стали

Цель работы:

1. Ознакомиться с устройством машины для испытания на растяжение типа ИР-200.
2. Освоить методы испытаний на растяжение металлов.
3. Определить основные механические характеристики при растяжении малоуглеродистой стали.

Оборудование и материалы

Работа выполняется на гидравлической машине для испытаний на растяжение типа ИР-200, развивающей усилие 200 кН (20 т). На рис. 1 представлена схема машины. Машина состоит из нагружающего устройства; захватов 4; пульта управления захватами 1; пульта управления с регуляторами скорости нагружения 8 и 9, переключателем режима (диапазона) измерений 10, индикатором включения 11 и кнопками запуска/остановки насоса 12 и 13; преобразователя перемещений; самопишущего прибора НЗ07 и пр.

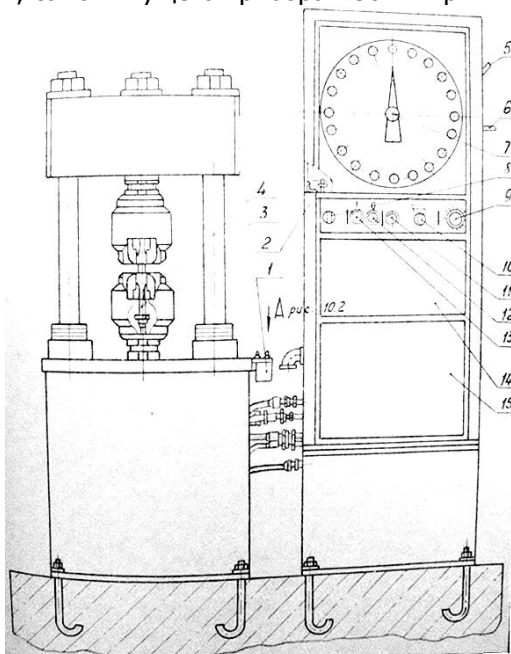


Рис. 1 Схема машины

Нагружение образца осуществляется нагружающим устройством, состоящим из основания, траверсы, двух рабочих цилиндров и двух захватов для закрепления испытуемых образцов. Питание рабочих цилиндров осуществляется от насосной установки, расположенной в нижней части пульта управления. Измерение нагрузки осуществляется по давлению в рабочих цилиндрах с помощью торсионного силоизмерителя. Измерение перемещения активного захвата осуществляется с помощью преобразователя перемещения, преобразующего перемещение рейки, связанной с траверсой, в электрический сигнал, индицируемый в миллиметрах. Контроль отклонения скорости нагружения от заданной осуществляется с помощью преобразователя перемещения и индикатора, показывающего величину отклонения в процентах.

Запись диаграммы производится с помощью самопишущего прибора НЗ70.

Форма и размеры образцов на растяжение (рис. 2) установлены ГОСТом 1497-61. Для испытания применяется, так называемый нормальный, цилиндрический образец диаметром $d = 10$ мм и начальной расчетной длиной $l = 100$ мм. Образец закрепляется в захватах машины и растягивается постепенно возрастающей нагрузкой до разрушения.

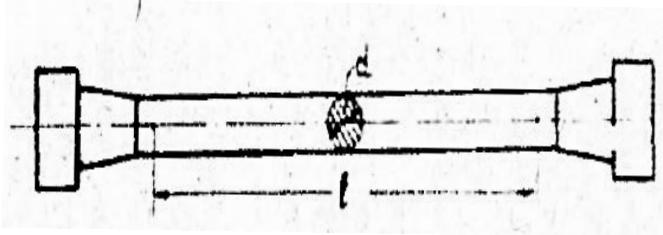


Рис. 2 Образец для испытаний на растяжение

Основные положения

К основным механическим характеристикам, отражающим поведение материалов при нагружении, относятся:

- а) характеристики прочности: предел пропорциональности σ_p , предел текучести σ_T и предел прочности σ_B ;
- б) характеристики пластичности: относительное остаточное удлинение δ , относительное остаточное сужение ψ ;
- в) полная удельная работа разрушения a – характеризует сопротивление материалов ударному нагружению.

Под пределом пропорциональности σ_P понимается то максимальное напряжение в образце, для которого справедлив закон Гука. Он определяется делением нагрузки, соответствующей переходу линейной зависимости между нагрузкой P и удлинении Δl в криволинейную (P_P), на первоначальную площадь поперечного сечения F_0

$$\sigma_P = P_P / F_0$$

До напряжений, равных пределу пропорциональности, в образце наблюдаются только упругие деформации. При превышении их наряду с упругими появляются остаточные, или пластические деформации.

При некотором значении нагрузки P_T в образце наблюдается рост остаточных деформаций без увеличения нагрузки. Это явление называют текучестью. Напряжение, при котором наблюдается текучесть, называют пределом текучести σ_T . Он определяется делением нагрузки P_T на первоначальную площадь поперечного сечения:

$$\sigma_T = P_T / F_0$$

При дальнейшем нагружении образца, в результате стеснения сдвигов отдельных кристаллов при пластическом деформировании, наблюдается увеличением нагрузки. Это явление называют упрочнением материала. При некоторой нагрузке P_{max} в образце начинает появляться шейка. При этом основная часть продольной деформации концентрируется в области шейки. В результате резкого уменьшения площади сечения в шейке нагрузка на образец снижается. Напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, которую может выдержать образец, называют пределом прочности σ_B . Он определяется по формуле:

$$\sigma_B = P_{max} / F_0$$

Перечисленные три механические характеристики отражают сопротивляемость материала разрушению, поэтому их называют характеристиками прочности.

Если изменение длины образца, т.е. остаточное удлинение Δl , разделить на первоначальную его длину l и выразить эту величину в процентах, то получим относительное остаточное удлинение δ :

$$\delta = \Delta l * 100\% / l.$$

Аналогично вычисляют изменение площади поперечного сечения образца вместе шейки или относительное остаточное сужение ψ :

$$\psi = (F_0 - F_K) 100\% / F_0 ,$$

где F_K – площадь поперечного сечения шейки.

Эти характеристики отражают величину остаточных пластических деформаций, предшествующих разрушению, поэтому их называют характеристиками пластичности.

Содержание работы заключается в определении этих характеристик. Кроме того, вычисляется работа, затрачиваемая на разрушение образца, которая определяется площадью диаграммы растяжения.

Методические указания к лабораторной работе № 1

При испытании регистрируется нагрузка P_T , соответствующая текучести, определяемая по остановке стрелки силоизмерительного устройства (динамометра) или по площадке текучести на диаграмме растяжения, а также наибольшая нагрузка P_{max} , предшествующая разрушению образца.

По полученным значениям P_T и P_{max} вычисляют предел текучести σ_T и предел прочности σ_B .

Обмером образца до и после испытания устанавливается начальная l и конечная l_K расчетная длина образца и его минимальная площадь сечения F_K после разрыва. По этим данным определяют:

- а) абсолютное удлинение $\Delta l = l_K - l$;
- б) относительное удлинение $\delta = \frac{\Delta l}{l} 100\%$;
- в) относительное сужение $\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} 100\%$;
- г) полная работа разрушения $A = \eta P_{max} \Delta l$,

где η – коэффициент полноты диаграммы, равный для мягкой стали 0,8...0,86.

После определения полной работы разрушения можно вычислить и полную удельную работу:

$$a = A / F_0 l .$$

Контрольные вопросы

1. Из каких основных элементов состоит машина для испытаний на растяжение?
2. С какой целью проводят испытания на растяжение?
3. Объясните порядок проведения испытаний на растяжение.
4. Что такое предел пропорциональности? Как он определяется?
5. Что такое предел текучести? Как он определяется?
6. Что такое предел прочности? Как он определяется?
7. Что такое относительное удлинение? Как оно определяется?
8. Что такое относительное сужение? Как оно определяется?

Содержание отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы должен быть представлен в виде карты испытаний № 1, в которой должны быть заполнены все поля.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

МИКРОАНАЛИЗ

Задание:

1. Указать назначение микроанализа.
2. Привести порядок проведения микроанализа.
3. Привести перечень и краткую характеристику оборудования для микроанализа.
4. Указать цель травления и привести необходимые материалы для травления.
5. Произвести микроанализ образцов № 1 и 2 до и после травления, привести картину и указать структурные составляющие.
6. Определить ориентировочно марку стали образца № 2.

Основные положения

Металлографическим методом исследуют макро- и микроструктуру металлов и сплавов. Структуру металла, видимую

невооруженным глазом или при небольших увеличениях (до 30 раз), называют макроструктурой.

Макроскопический анализ позволяет выявить форму и расположение кристаллических зерен в литом металле, направление волокон в деформированном металле, усадочные и газовые раковины, усадочные рыхлоты, трещины, характер излома и т.д.

Обычно макростроение металла изучают на макрошлифах или по изломам. Макрошлиф представляет собой специально подготовленную часть детали. Поверхность макрошлифа шлифуют наждачной бумагой на специальном станке, после чего шлифы подвергают глубокому травлению различными реактивами.

При микроскопическом исследовании структуры металлов используют металлографические или электронные микроскопы. Обычно применяют металлографические микроскопы с увеличением 50-2000 раз. Для определения микроструктуры металла изготавливают специальные шлифы.

Одну из плоских поверхностей исследуемого образца обрабатывают шлифовальной бумагой, а затем полируют на сукне до зеркального блеска (рис. 1). Качество изготовления шлифа проверяют под микроскопом.

Для выявления структуры шлиф подвергают травлению в слабых спиртовых или водных растворах кислот или щелочей, а также в смеси различных кислот.

Вследствие неодинаковой травимости структурных составляющих, границ зерен и самих зерен появляется микрорельеф, что вызывает неодинаковое отражение света. Поэтому структура, протравленная в большей степени, представляется под микроскопом более темной по сравнению со структурой, протравленной в меньшей степени.

Электронный микроскоп имеет увеличение до 10^6 раз, что значительно расширяет область применения микроструктурного анализа.

В настоящее время разработаны способы микроскопического исследования образцов металла в вакууме. В результате стало возможным наблюдение структур металлов при повышенных температурах.

Порядок проведения микроанализа

Металлографический анализ складывается из трех этапов:

3.1. Приготовление микрошлифа (рис. 1.)

3.2. Травление – выявление структуры.

3.3. Исследование структуры металлов и сплавов на металлографическом микроскопе МИМ-6.

Оборудование для микроанализа

Для выполнения указанных операций необходимо следующее оборудование:

- ножовочный или токарный станок для отрезки образца;
- верстак и тиски для предварительной шлифовки образца после его отрезки;
- плоскошлифовальный станок для шлифовки исследуемой поверхности;
- вертикально-полировочный станок;
- металлографический микроскоп МИМ-6 с увеличением в 950 раз.

Микроскоп МИМ-6

Металлографический микроскоп применяют для изучения и фотографирования структуры металлов и сплавов, т.е. непрозрачных предметов. Он дает при непосредственном наблюдении увеличение в 950 раз, а при фотографировании до 140.

Порядок работы с микроскопом

Исследуемый шлиф помещается на предметный столик полированной и протравленной поверхностью вниз. Грубую наводку (фокусирование) объектива на резкое изображение производят подниманием или опусканием предметного столика винтом грубой наводки, наблюдая при этом в окуляр за четкостью изображения. Точную наводку на фокус осуществляют посредством вращения микрометрического винта.

Исследование нетравленного образца

Приготовленный, но не протравленный шлиф под микроскопом имеет вид светлого круга (рис. 2). Имеющиеся трещины, раковины, неметаллические включения будут видны без травления в виде черных пятен.

Травление шлифа

Цель травления состоит в том, чтобы путем разного воздействия на разные структурные составляющие растворами

кислот вызвать в них неодинаковое отражение света или получить резкие границы, отделяющие одно зерно от другого.

Для травления употребляют 5%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте или 4%-ный раствор пикриновой кислоты в этиловом спирте.

Указанный раствор наливают в фарфоровую или стеклянную чашку, обезжиренный спиртом шлиф опускают в раствор на несколько секунд, промывают водой и спиртом, а потом высушивают прикладыванием фильтровальной бумаги.

Микроанализ структуры

Так как исследуемый образец № 2 изготовлен из нормализованной, доэвтектоидной стали, его структура состоит из феррита и перлита. Поскольку феррит представляет собой однофазный твердый раствор, а перлит – двухфазную механическую смесь, после травления феррит будет иметь вид светлых, а перлит – темных пятен.

Феррит (Ф) - твердый раствор внедрения углерода в α -железо. Он мягкий (65-130 НВ), пластичный ($\delta = 40 \%$), сильно магнитен, хорошо проводит тепло и электричество.

При нормальной температуре в феррите содержится 0,006 % С. Максимальное содержание углерода в феррите 0,025 % при 723 °С. В феррите кроме углерода может находиться некоторое количество кремния, марганца, фосфора.

Перлит (П) – механическая смесь (эвтектоид) цементита и феррита. Содержание углерода в перлите равно 0,83 %. Перлит бывает пластинчатый и зернистый.

В пластинчатом перлите цементит находится в виде пластинок, а в зернистом – в виде зерен шарообразной формы.

Механические свойства перлита зависят от размеров частичек цементита ($\sigma_{\text{в}} = 750...820 \text{ МН/ м}^2$; $\delta = 15\%$; 220...250 НВ).

Цементит (Ц) – карбид железа Fe_3C . В нем содержится 6,67 % С. Цементит имеет сложную кристаллическую решетку, обладает большой твердостью (800 НВ) и хрупкостью. Он слабо магнитен, плохо проводит электрический ток и тепло. Температура плавления цементита около 1300°С. Цементит является неустойчивым химическим соединением и при высоких температурах распадается на железо и углерод.

После полирования и травления зерна цементита, как более твердые и стойкие против травления, чем феррит, будут выступать из плоскости шлифа, образуя микрорельеф. Кроме

того, в результате травления границы феррита будут вытравливаться сильнее и дадут углубления. В местах выступов и углублений, соответствующих границам зерен, падающие лучи света будут рассеиваться, в результате чего зерна перлита примут вид темных пятен (рис.3).

Определение марки стали по микроструктуре

В доэвтектоидной стали после травления феррит выявляется в виде светлых полей, а перлит – в виде полей полосчатого строения (рис. 4). В микроструктуре доэвтектоидной стали можно приблизительно определить содержание углерода, для чего нужно ориентировочно определять площадь (в процентах), занимаемую ферритом и перлитом.

Пример

Если при рассмотрении структуры доэвтектоидной стали установлено, что в поле зрения площадь, занятая ферритом, составляет 45 % (по глазомеру), тогда остальная часть поля, занятая перлитом, составит 55 %.

Содержащийся в стали углерод содержится в феррите и перлите, так как другие составляющие отсутствуют. Содержание углерода в феррите $C_{\text{Ф}}=0,006\%$, в перлите $C_{\text{П}} = 0,83\%$.

Поэтому общее количество углерода в стали будет:

$$C = (C_{\text{Ф}}\Phi + C_{\text{П}}\Pi)/(\Phi + \Pi) = (0,006 \cdot 45 + 0,83 \cdot 55)/(45 + 55) = 0,46 \%$$

Теперь по таблицам ГОСТа находим, что это содержание соответствует марке стали 45.

Методические указания по выполнению лабораторной работы №2

1. Ознакомиться с устройством микроскопа МИМ-6.
2. Произвести анализ нетравленного образца.
3. Произвести анализ травленного образца.
4. Определить содержание углерода в стали.
5. Данные анализа и расчеты занести в карту испытаний №2 согласно заданию (п. 1.1 – 1.7).

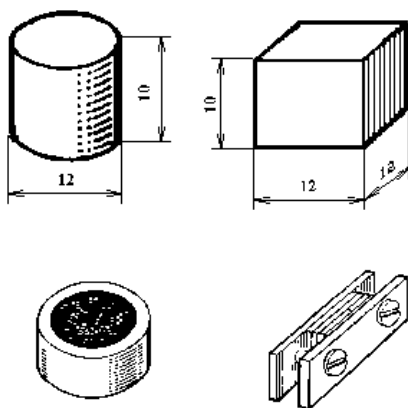


Рис. 1. Шлифы для микроанализа

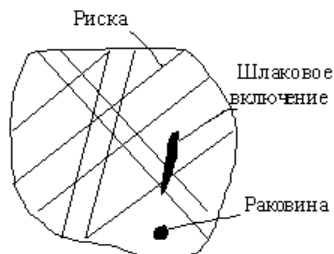


Рис. 2. Вид нетравленого шлифа под микроскопом

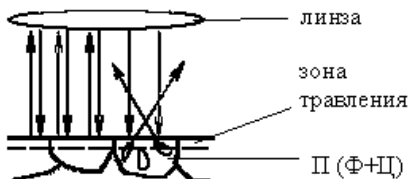


Рис.3. Схема преломления лучей света от шлифа

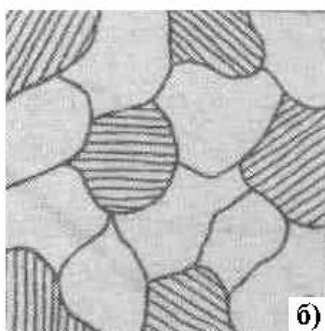
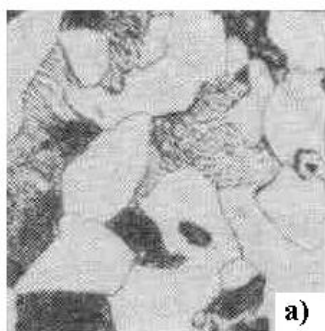


Рис. 4. Дозвтектоидная сталь с 0,3 % С – феррит + перлит;
а – микроструктура (x500); б – схема микроструктуры

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Закалка стали

Определение и назначение закалки

Операция термической обработки стали, заключающаяся в нагреве стали до высокой температуры, выдержке при этой температуре и охлаждении с высокой скоростью, называется закалкой стали.

Закалка применяется с целью повышения твёрдости и прочности деталей. Такое изменение механических свойств происходит за счёт изменения структуры стали в результате воздействия на неё быстро изменяющихся температурных условий.

Сущность структурных превращений при закалке заключается в следующем. Углерод, находящийся в стали, распределен в различных структурных составляющих: феррите, перлите и цементите. При нагреве стали выше температуры A_{c1} (линия PS) происходит изменение кристаллической решетки ОЦК на ГЦК, и этот переход полностью заканчивается при температуре A_{c3} (линия GS). При этой температуре углерод находится в однофазном твердом растворе - аустените. При медленном охлаждении происходит обратный процесс и никаких структурных изменений не произойдет. При быстром охлаждении углерод не успевает перераспределиться между ферритом и цементитом и практически весь остается в решетке ОЦК (решетке феррита), образуя, таким образом, перенасыщенный твердый раствор углерода в α -железе, который называется *мартенсит*. В связи с большим перенасыщением структуры углеродом значительно повышается твердость и прочность металла. Однако при этом в металле возникают большие внутренние напряжения, которые в ряде случаев могут даже привести к образованию так называемых закалочных трещин.

Закалка в зависимости от температуры нагрева разделяется на полную и неполную.

Полная – температура нагрева выше линии GSE на 20-40 градусов, даёт структуру мартенсита с некоторым количеством остаточного аустенита.

Неполная – с нагревом выше линии PSK на 20-40 градусов, но ниже линии GSE приводит к образованию мартенсита с

зернами феррита для доэвтектоидной стали и мартенсита с зёрнами вторичного цементита для заэвтектоидной стали.

Для доэвтектоидной стали лучшие результаты (наивысшую твёрдость) даёт полная закалка. Неполная не может обеспечить необходимой твердости вследствие наличия не растворившегося феррита в структуре стали

Для заэвтектоидных сталей неполная закалка, т.е. с нагревом выше линии SK (рис. 1), но ниже линии SE, даёт лучшие результаты, чем полная, потому что в структуре вместе с мартенситом образуется вторичный цементит, имеющий округлую форму зерен, что не только не снижает твердость стали, но даже несколько повышает ее. Полная закалка с нагревом выше линии SE даёт излишний перегрев и излишние термические напряжения, а твёрдость по сравнению с неполной закалкой даже немного снижается за счёт растворения карбидов и увеличения количества остаточного аустенита.

Оборудование для заковки

1. Муфельная печь для нагрева образца.
2. Термоэлектрический пирометр для проверки температуры в печи.
3. Щипцы для выемки образца из печки.
4. Пресс Роквелла для определения твёрдости до и после заковки.
5. Охлаждающая жидкость.

Порядок работы с прессом Роквелла

До и после заковки проводят испытания образца на твердость. Под твердостью металла понимается его сопротивление внедрению инородного тела. Таким инородным телом является стальной шарик (для мягких незакалённых металлов) или алмазный конус (для твердых закалённых образцов.)

Нагрузка на стальной шарик по стандарту составляет 1000 Н, на алмазный конус 1500 Н. Чем мягче образец, тем глубже проникает в его тело шарик или алмаз и тем больше будет глубина отпечатка. По глубине отпечатка судят о твёрдости образца. Эта глубина фиксируется индикатором часового типа. Результат измерения твёрдости читается по шкале: либо по красной «В» - для шарика, либо по чёрной «С» - для алмаза. Соответственно с этим твёрдость обозначается HRB для шарика с нагрузкой 100 Н, HRC - для алмаза с нагрузкой 1500 Н. Если

испытываемое изделие имеет незначительную толщину, то его твёрдость испытывают алмазным конусом под нагрузкой 60 Н и отсчёт производят по чёрной шкале. В этом случае твёрдость обозначают HRA.

Измерив твёрдость по Роквеллу до и после закалки, единицы Роквелла переводят по таблицам в единицы Бринеля и заполняют графы 3 и 5 в карте испытаний №3.

Порядок выполнения закалки

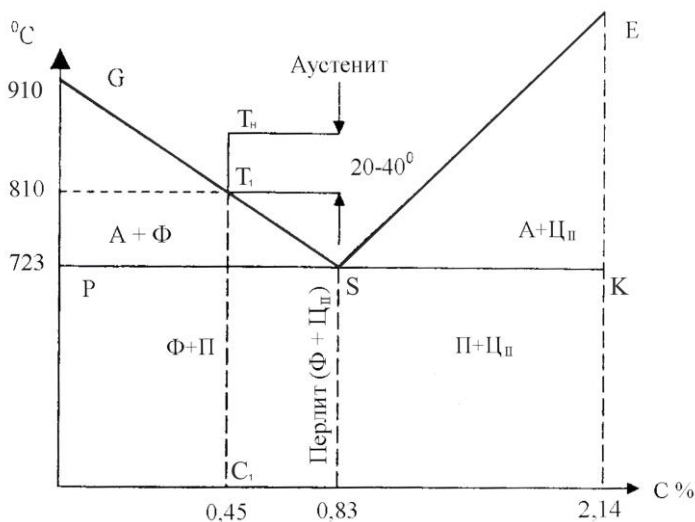
Закалка состоит из трёх стадий:

- нагрева;
- выдержки;
- охлаждения.

Образец изготовлен из стали 45 с содержанием углерода $C=0,45\%$, которая относится к группе доэвтектоидных сталей, в составе которой углерода меньше $0,83\%$.

1. Температура нагрева этих сталей определяется линией GS диаграммы железоуглеродистых сплавов (точкой A_{c3}) (см.рисунок).

Откладывая по оси абсцисс процентное содержание углерода в стали 45, проводим через точку C_1 ординату. Она пересечёт линию GS в точке T_1 , это и будет точка A_{c3} для стали 45.



Для данного случая $T_n = 810^\circ + (20 \dots 40) = 840^\circ \text{C}$. Для

нагрева образца до этой температуры пользуются электрической муфельной печью с нихромовой нагревательной обмоткой, контроль температуры осуществляется термоэлектрическим пирометром.

2. Период выдержки

Для обеспечения однородности структуры образца по всей его толщине необходима выдержка при расчётной температуре подогрева. Время выдержки подсчитывается из расчёта 2 минуты на 1 миллиметр толщины образца.

Так, при нагреве образца толщиной 5 мм время выдержки

$$T = 2 \times \delta = 2 \times 5 = 10 \text{ мин.}$$

3. Период охлаждения

После нагрева образца до указанной температуры и выдержки его при этой температуре проводится его быстрое охлаждение – сама закалка. При разной скорости охлаждения получается различная степень закалки. Самая высокая твердость и прочность углеродистой стали получается при скорости охлаждения 300-400 градусов в секунду.

При уменьшении скорости охлаждения, равно как и при увеличении её, твердость и прочность стали будет уменьшаться.

Практически закалка на мартенсит будет получена, если в качестве охлаждающей жидкости берётся вода с температурой 20 °С, а её объём должен быть в 1000 раз больше объёма закаливаемого образца. При этом в процессе закалки вода должна интенсивно перемешиваться.

Методические указания по выполнению лабораторной работ №3

1. Указать назначение закалки.
2. Привести перечень приборов, инструментов, материалов, необходимых для проведения лабораторной работы.
3. Измерить твёрдость образца перед закалкой.
4. Привести порядок проведения закалки. Определить температуру нагрева образца из стали 45, найти время выдержки и произвести закалку образца в воде.
5. Произвести измерение твёрдости закалённого образца.
6. Результаты работы свести в таблицу карты испытаний №3 и сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Отпуск стали

Определение назначения отпуска

Сталь, закаленная на мартенсит, находится в сильно напряжённом состоянии и обладает высокой твёрдостью и хрупкостью, что делает её непригодной для практического использования. Для уменьшения внутренних напряжений, снижения твёрдости и хрупкости и повышения пластичности применяется отпуск.

Отпуском называется термическая обработка, при которой закаленная сталь нагревается до температуры ниже критической точки A_{c1} , выдерживается при этой температуре, а затем медленно охлаждается на воздухе.

При отпуске происходят структурные превращения, заключающиеся в том, что мартенсит закалки и остаточный аустенит распадаются, образуя более устойчивые структуры.

Различают три вида отпуска: низкий, средний и высокий (рис. 2).

Низкий отпуск – нагрев закаленной стали до температуры 150...200°C. При этой температуре наблюдается выделение из мартенсита мельчайших карбидных включений чаще всего пластинчатой формы толщиной в несколько атомных слоев. Кроме того, при этом виде отпуска происходит частичное снятие внутренних напряжений, некоторое увеличение пластичности и, следовательно, ударной вязкости металла. Твёрдость металла практически не изменяется.

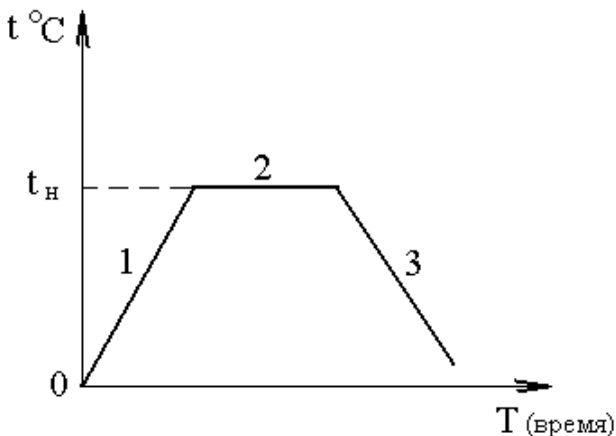


Рис.1. Технологический процесс отпуска: 1 – нагрев образца, 2 – выдержка для равномерного прогрева, 3 – охлаждение на воздухе

Структура после низкого отпуска – мартенсит отпуска. Этому виду отпуска подвергают мерительный и режущий инструменты и детали, прошедшие цементацию и поверхностную закалку.

Средний отпуск производится при нагреве закаленной стали до температуры 300...400 °С. Структура стали представляет собой мелкодисперсную смесь феррита и цементита, называемую трооститом отпуска.

Высокий отпуск производится в интервале температур 500...600 °С. В этом случае образуется структура, называемая сорбитом отпуска, и представляющая собой ферритоцементитную смесь средней дисперсности с зернистым строением.

При высоком отпуске практически полностью снимаются внутренние напряжения в стали и получается наилучшее сочетание прочности и пластичности металла. Высокому отпуску подвергается большинство ответственных деталей машин и конструкций. Закалка и высокий отпуск носит название улучшения стали. Улучшению подвергаются конструкционные стали, содержащие 0,3...0,5 % углерода. Такие стали называют улучшенными.

Оборудование для отпуска

Оборудованием для отпуска являются:

1. Муфельная печь для нагрева образца.
2. Термоэлектрический пирометр для определения температуры в печи.
3. Щипцы для выемки образца из печи.
4. Пресс Роквелла для определения твёрдости до и после отпуска закалённого образца.

Порядок проведения отпуска

Для проведения отпуска необходимо иметь образец (1, 2 или 3 шт.) закаленной стали 45. Предварительно замеряется твердость образца (три измерения).

Температура нагрева образца определяется в зависимости от вида отпуска (низкий, средний или высокий) и не зависит от содержания углерода в стали (рис.2).

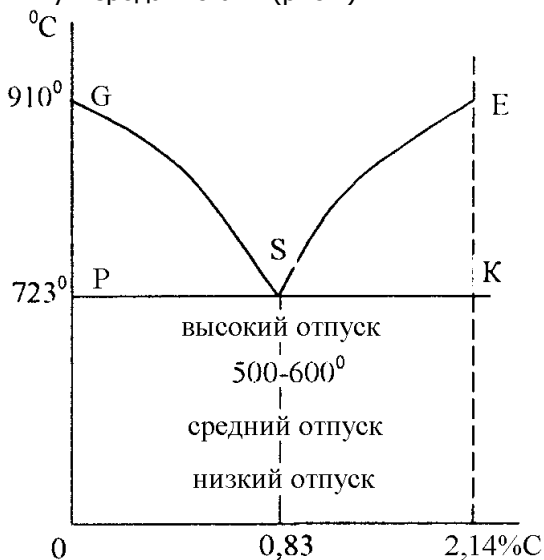


Рис.2. Виды отпуска

Первоначально устанавливается температура печи с помощью регулятора. Фиксируется температура при срабатывании автомата поддержания температуры печи. При заданной температуре образец помещается в печь. Время выдержки образца в печи:

$$T = 2 \times \delta = 2 \times 5 = 10 \text{ мин} .$$

После выдержки образца в печи, его вынимают и оставляют охлаждаться на воздухе. После охлаждения зачищается поверхность для снятия окалины. Далее производится измерение твёрдости образца (три измерения). По полученным значениям твёрдости до и после отпуска определяется снижение твёрдости в процентах.

Методические указания по выполнению лабораторной работы № 4

1. Указать назначение отпуска.
2. Привести перечень приборов, инструментов, необходимых для проведения лабораторной работы.
3. Измерить твёрдость закалённого образца перед отпуском
4. Привести порядок проведения отпуска. Определить температуру нагрева для высокого отпуска закаленного образца из стали 45.
5. Произвести измерения твёрдости отпущенного образца.
6. Результаты работы свести в таблицу карты испытаний №4 и сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.

Структура легированных сталей

Стали, содержащие специальные элементы: хром, никель, молибден, ванадий и т.д. или повышенное содержание марганца и кремния, называются легированными.

Легирование, т.е. введение в состав стали специальных элементов, ставит перед собой цель – придать стали требуемые свойства. Это могут быть повышенные прочностные характеристики, жаропрочность, повышенная коррозионная стойкость и т. д.

Легировующие элементы по характеру взаимодействия их с железом и углеродом в стали разделяются на две группы:

Первая - никель, кремний, алюминий, кобальт. Эти элементы карбидов не дают, а, растворяясь в феррите, изменяют его свойства, снижают пластичность и повышают прочность.

Вторая - хром, молибден, вольфрам, ванадий, марганец,

титан и другие. Эти элементы называются карбидообразующими, так как они, взаимодействуя с углеродом стали, образуют карбиды.

Карбидообразующие элементы растворяются в феррите и входят в состав карбидной фазы. Соотношение между этими частями зависит от содержания углерода и легирующего элемента.

Специальные элементы сильно влияют на положение критических точек A_1 и A_3 .

Одни элементы, сдвигая критические точки, уменьшают или совсем исключают область γ -раствора (аустенита). В этом случае сталь будет иметь ферритную структуру при всех температурах, и поэтому такие стали не принимают закалки.

Другие элементы расширяют область γ -раствора (аустенита).

При достаточно большом содержании легирующих элементов возможно получить мартенситное и аустенитное состояние стали даже при охлаждении ее на воздухе.

Классификация легированной стали по структуре

По типу структуры после нормализации легированную сталь можно разделить на классы: ферритный, перлитный, мартенситный, аустенитный.

При большом содержании карбидообразующих элементов стали имеют карбидную структуру и относятся к карбидному классу.

1. Стали ферритного класса

В этих сталях легирующие элементы настолько уменьшают область γ – раствора, что они практически не закаляются и сохраняют состояние специального, легированного феррита (феррита с растворенными в нем легирующими элементами). Подобные стали из-за ограничений γ – области закалке не поддаются и имеют малое распространение (для деталей, не требующих закалки). Пример марки стали ферритного класса: 12Х17(рис. 1).

2. Стали перлитного класса

Содержат небольшое количество легирующих элементов. После нормализации структура их – перлит (сорбит, троостит). Хорошо обрабатываются режущим инструментом и после

окончательной термообработки имеют повышенные прочностные свойства. Стали перлитного класса находят исключительно широкое применение как конструкционный материал для изготовления деталей машин: зубчатых колес, валов, пальцев.

Примеры марок стали перлитного класса: 20Х, 12ХНЗ, 50НХ, 30ХМ, 38ХМЮА, 12Х1МФ (рис.2).

3. Стали мартенситного класса

Содержат большее количество легирующих компонентов, чем стали перлитного класса и обладают свойством самозакаливаемости, т.е. получают структуру мартенсита при охлаждении на воздухе. К ним относится хромистая нержавеющая сталь с мартенситной структурой (например: авиационные стали 30Х13, 18ХН4ВА и 20Х13 (рис. 3), принимающие закалку при охлаждении на воздухе).

4. Стали аустенитного класса

Стали этого класса в составе имеют значительное количество легирующих элементов, расширяющих область γ – раствора (аустенита) Влияние легирующих элементов сказывается на положении критических точек столь сильно, что даже при медленном охлаждении (на воздухе) стали имеют аустенитное строение, поэтому они не магниты, очень вязкие и обладают относительно высокой пластичностью.

К этому классу относятся нержавеющие, немагнитные и жароустойчивые стали, применяемые для изготовления деталей и конструкций, работающих в агрессивных средах и при высоких температурах. Пример марки стали аустенитного класса: 12Х18НЮТ, 1Х18Н9Т, 45Х14Н14В2М (рис. 4).

5. Стали карбидного класса

Благодаря высокому содержанию углерода и большому количеству карбидообразующих элементов, сталь этого класса имеет в структуре много сложных карбидов, придающих стали повышенную твердость, хорошие режущие свойства и износоустойчивость: хромистые и другие, предназначенные для изготовления инструментов.

Примеры марок стали карбидного класса: Х13, Х12Ф1, Х12Ф и др.

Классификация легированной стали по

применению

По применению легированная сталь в зависимости от состава структуры и свойства разделяется на следующие группы:

- конструкционные стали;
- инструментальные стали;
- стали особого назначения (рис. 5).

1. Конструкционная сталь.

Это в основном стали перлитного класса, идущие на изготовление деталей машин. В зависимости от химического состава конструкционные стали подразделяются на качественные и высококачественные, а по содержанию углерода – на цементируемые (с низким содержанием углерода) и улучшенные (со средним содержанием углерода), т.е. подвергающиеся непосредственно закалке и отпуску (улучшению).

Примеры марок конструкционной стали: Сталь15Х, Сталь20ХН, Сталь12Х1Н4 – цементируемые качественные; Сталь30ХМА, Сталь12Х2Н4А – цементируемые высококачественные; Сталь35ХМ, Сталь40ХН – улучшенные качественные; Сталь30ХГСА, Сталь50ХА, Сталь37Н3А – улучшенные, высококачественные. Легирующие элементы обозначаются: Г – марганец, М – молибден, Н – никель, С – кремний, Х – хром, Т – титан, К – кобальт, В – вольфрам, Ю – алюминий, Д – медь, Ф – ванадий. Цифра, стоящая вначале обозначения марки стали, показывает содержание углерода в сотых долях процента. Цифра, стоящая *после* обозначения компонента, показывает его содержание в целых процентах. Буква А, стоящая в конце обозначения марки стали, указывает, что сталь высококачественная, т.е. содержание серы и фосфора не превышает 0,03% каждого.

2. Стали для металлоконструкций разделяют на 4 группы:

- Сварные конструкции и их элементы для тяжелых условий работы (динамические, вибрационные и подвижные нагрузки). К таким конструкциям относятся: подкрановые балки, балки рабочих площадок, элементы конструкций бункерных и разгрузочных эстакад, фасонки ферм, пролетные строения транспортных галерей, сварные опоры больших переходов линий электропередач и т.п.

Основные марки сталей по ГОСТ 19282-73*: Сталь09Г2С, Сталь10Г2С1, Сталь15ХСНД, Сталь14Г2, Сталь14Г2АФ, Сталь16Г2АФ, Сталь18Г2АФс. Категория стали: 12, 13, 15.

- Сварные конструкции и их элементы, работающие при статической нагрузке (фермы, ригели рам, балки перекрытий, опоры транспортных галерей, облицовка водоводов и т.п.).

- Основные марки сталей по ГОСТ 19281-73*, ГОСТ 19282-73*, ТУ14-1-1217-75: 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 15ХСНД, 14Г2, 10ХНДП, 14Г2АФ, 12Г2СМФ, 12ГН2МФАЮ. Категория стали: 6, 13, 15.

- Сварные конструкции и их элементы, работающие при статической нагрузке (колонны, стойки, опорные плиты, элементы настила перекрытий и т.п.). Основные марки сталей по ГОСТ 19282-73* ТУ14-1-3023-80: 09Г2С, 14Г2, 10Г2С1, 15ХСНД, 10ХНДП, 14Г2АФ, 18Г2АФ. Категория стали: 6, 7(12), 9.

3. Материалы для соединений сваркой стальных конструкций

Материалы для сварки стальных конструкций выбираются, исходя из следующих условий: марка свариваемой стали, вид сварки (под флюсом, в углекислом газе или в его смеси с аргоном), покрытыми электродами.

Марка стали	Флюс и проволока		В углекислом газе и проволока	Тип электродов
09Г2С, 09Г2 10Г2С1, 14Г2 15ХСНД 10ХНДП 10ХСНД	АН-47	Св-10ММА	Св-08Г2С Св-08Г2СЦ	Э46
	АН-43	Св-08ХМ		Э50
	АН-17М	Св-10Г2		
	АН-348-А	Св-10ГА		
		Св-10ГА		
18Г2АФпс 16Г2АФ 15Г2СФ 15Г2АФДпс 12ГН2МФАЮ	АН-47	Св-10НМА	Св-08Г2С Св-08Г2СЦ	Э50
	АН-43	Св-08ХМ ³	Св-08ХГСМА	Э60
	АН-17М		Св-10ХГ2СМА	
	АН-17М	Св-08ХН2ГМЮ	Св-10ХГ2СМА	Э70

4. Стали для высокопрочных болтов

Для высокопрочных болтов диаметром от 16 до 48 мм применяются следующие марки стали: 40Х, 38ХС, 40ХФА, 30ХЗМФ, 30Х2НМФА, 35Х2АФ.

5. Арматурные стали

В соответствии со СНиП 2.03.01-84 в качестве материала для арматуры железобетонных конструкций применяются следующие стали: 18Г2С, 10ГТ, 35ГС, 25Г2С, 32Г2Рпс, 80С, 20ХГ2Ц, 23Х2Г2Т, 20Х2Г2СР, 22Х2Г2ГАЮ, 22Х2Г2Р, 20ХГС2, 08ХГС2, 08ХГ2С, 20ГС. В основном применяются стержневая

арматурная сталь горячекатанная, термически и термомеханически упрочненная – гладкая и периодического профиля классов А-I, А-II, А-III, А_т - IV, А_т – V, А_т – VI. Кроме того, используется арматурная холоднотянутая проволока.

Методические указания по выполнению лабораторной работы №5

Изучить классификацию легированных сталей.

1. Ознакомиться с примерами обозначения марок легированных сталей.
2. На основе анализа материала работы заполнить таблицы 1– 3 в карте испытания № 5.

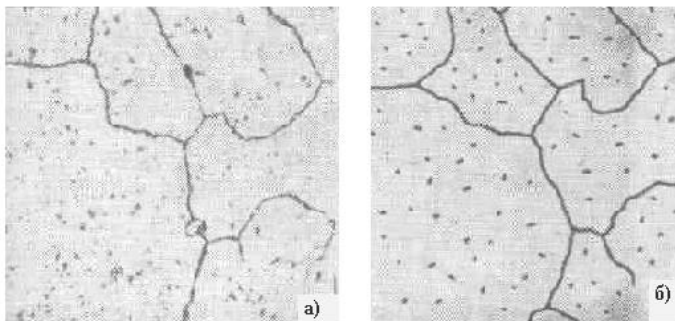


Рис. 1. Сталь 12X17 (ферритного класса): а – микроструктура (x500); б – схема микроструктуры

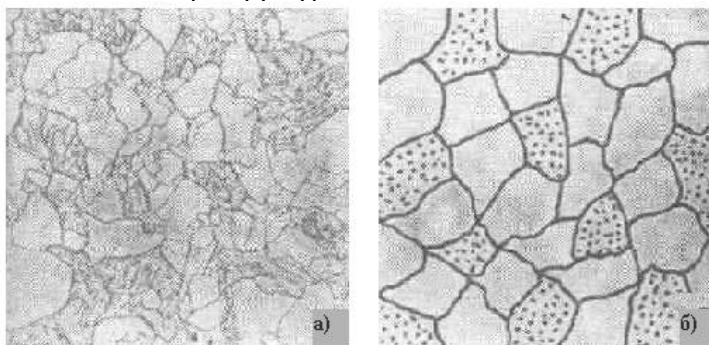


Рис. 2. Сталь 12X1МФ (перлитного класса): а – микроструктура (x500); б – схема микроструктуры

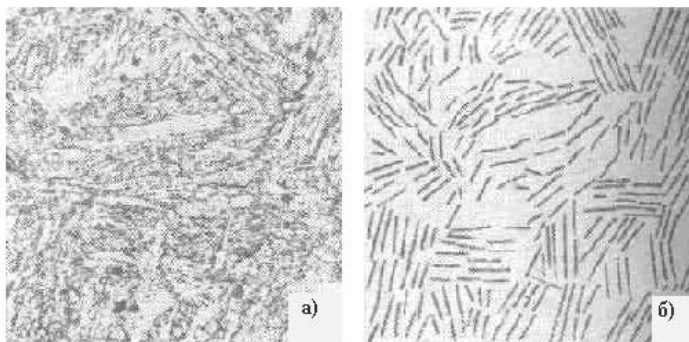


Рис. 3. Сталь 20X13 (мартенситного класса): а –
микроструктура (x500);
б – схема микроструктур

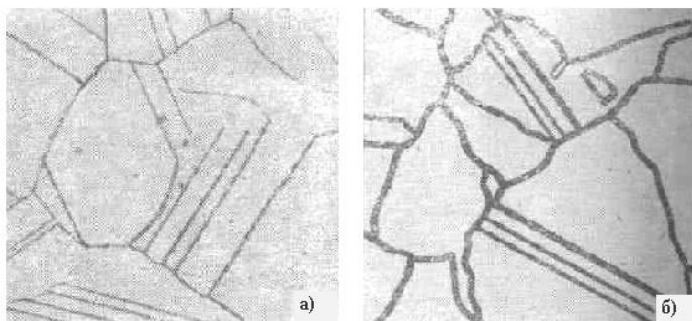


Рис. 4. Сталь 45X14H14B2M (аустенитного класса): а –
микроструктура (x500); б – схема микроструктуры

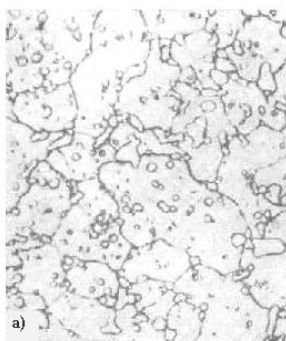


Рис. 5. Микроструктура быстрорежущей стали P18 после
закалки



ПРИЛОЖЕНИЕ

КАРТА ИСПЫТАНИЙ № 1

Испытание на растяжение малоуглеродистой стали

1. Название машины
2. Эскиз образца для испытания
3. Исходные данные

Размеры поперечного сечения образца до испытания		Расчетная длина образца до испытания l , мм	Коэффициент полноты диаграммы η
Диаметр d_0 , мм	Площадь поперечного сечения F_0 , мм ²		

4. Эскиз образца после испытания

5. Результаты испытаний

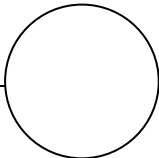
Предел текучести		Предел прочности		Расчетная длина образца после разрушения l_k , мм	Абсолютная деформация Δl , мм	Относительная деформация (относительное удлинение) δ , %	Размеры образца в месте разрушения		Относительное сужение образца в области шейки ψ , %	Полная работа деформации A , Дж
R_T , кН	σ_T , МПа	R_B , кН	σ_B , МПа				d , мм	F , мм ²		



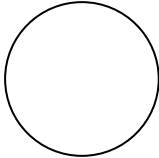
6. Диаграмма растяжения

7. Вычисления

КАРТА ИСПЫТАНИЙ № 2

Лаборатория технологии металлов и сварки РГСУ		Тема: Микроанализ	
Студент		Группа	Дата
№	Задание	Выполнение	
1	Указать назначение микроанализа		
2	Привести порядок проведения микроанализа		
3	Привести перечень оборудования для проведения микроанализа		
4	Привести картину поверхности нетравленного образца		
5	Указать цель травления образца и привести необходимые материалы для травления		



6	Произвести микроанализ образца №2 после травления, привести картину и указать структурные составляющие	
7	Определить ориентировочно марку стали образца Последовательность подсчетов	Количество феррита в образце (Φ) _____ Количество перлита в образце (Π) _____ Содержание C_1 в феррите П% _____ Содержание C_2 в перлите в % _____ Тоже в образце _____ $C = (C_1\Phi + C_2\Pi) / (\Phi + \Pi)$ _____
Марка стали по ГОСТу		

КАРТА ИСПЫТАНИЙ № 3

Лаборатория технологии металлов и сварки РГСУ		Тема: ЗАКАЛКА СТАЛИ	
Студент		Группа	Дата
№	Задание	Выполнение	



1	Указать назначение закалки	
2	Привести перечень приборов . инструментов .материала , необходимых для проведения лабораторной работы	
3	Указать марку стали и содержание углерода и измерить твердость образца перед закалкой	Марка стали_____ Содержание углерода_____ Твердость перед закалкой_____



4	Привести порядок проведения закалки. Определить температуру нагрева T образца из стали 45, найти время выдержки и произвести закалку образцов в воде	1. Порядок проведения закалки _____ _____ _____
5	Измерить твердость закаленного образца	Твердость после закалки_____
6	Привести результаты работы и сделать выводы	Твердость перед закалкой_____



КАРТА ИСПЫТАНИЙ № 4

Лаборатория технологии металлов и сварки РГСУ		Тема: ОТПУСК СТАЛИ	
Студент		Группа	Дата
№	Задание	Выполнение	
1	Указать назначение отпуска		
2	Привести перечень приборов . инструментов .материала , необходимых для проведения лабораторной работы		
3	Указать марку стали и содержание углерода и измерить твердость образца перед отпуском	Марка стали_____ Содержание углерода_____ Твердость перед отпуском_____	



4	Привести порядок проведения отпуска. Определить температуру нагрева T образца из стали 45, найти время выдержки и произвести отпуск образцов.	1. Порядок проведения отпуска _____ _____ _____ 2. Температура нагрева: высокий отпуск _____ средний отпуск _____ низкий отпуск _____ Время выдержки _____ Толщина образца _____ Охлаждающая среда _____ Скорость охлаждения _____
5	Измерить твердость отпущенного образца	Твердость после отпуска _____
6	Привести результаты работы и сделать выводы	Твердость перед отпуском _____ Твердость после отпуска _____ Вывод _____



КАРТА ИСПЫТАНИЙ № 5

Лаборатория технологии металлов и сварки РГСУ		Тема: Структура легированных сталей			
Студент		Группа		Дата	
Таблица 1.					
Легировующие элементы					
Группа легирующих элементов, не образующих карбидов			Группа карбидообразующих элементов		
Таблица 2.					
Классификация легированных сталей по структуре					
№ п / п	Наименование стали по структуре	Пример условного обозначения	Химический состав стали	Наименование стали по химическому составу	Область применения стали
1	Стали ферритного класса				
2	Стали мартенситного класса				
3	Стали перлитного класса				
4	Стали аустенитного класса				
5	Стали карбидного класса				
Таблица 3.					
Стали для металлоконструкций					
№	Наименования	Условное	Виды		



п/п		обозначение	конструкций
1	Стали для сварных конструкций		
1.1	Для тяжелых условий работы		
1.2	Для статических нагрузок		
2	Материалы для сварки стальных конструкций		
2.1	Флюс и проволока		
2.2	В углекислом газе и проволока		
2.3	Тип электродов		
3	Стали для высокопрочных болтов		