

Приложение
к рабочей программе
специальности 23.02.06
Техническая эксплуатация
подвижного состава железных дорог

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

к учебной дисциплине

ОП.05. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Содержание

Введение

Правила охраны труда при проведении лабораторных занятий

Лабораторная работа №1 Исследование микроструктуры сталей и чугунов.

Лабораторная работа № 2 Определение твердости металлов методом Бринелля.

Лабораторная работа № 3 Определение твердости металлов методом Роквелла.

Лабораторная работа №4 Определение ударной вязкости металлов.

Лабораторная работа №5 Испытание стали на растяжение.

Лабораторная работа №6 Нормализация, закалка и отпуск углеродистой стали.

Лабораторная работа №7 Определение вязкости, температуры вспышки масла.

Лабораторная работа №8 Определение температуры каплепадения пластичных смазок.

Введение

Методические указания по выполнению практических работ учебной дисциплины ОП.05. Материаловедение специальности 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО и примерной программой дисциплины ОП.05. Материаловедение. Включает в себя порядок проведения 13 практических занятий продолжительностью по 2 академических часа каждое. Практические занятия проводятся после изучения теоретического материала по определенной теме на учебных занятиях, и позволяют конкретизировать, углубить и закрепить полученные студентами знания. Преподаватель заранее информирует студентов о предстоящем практическом занятии, и у студентов есть возможность, подготовиться к предстоящей работе, и наиболее эффективно использовать время, отведенное для выполнения задания.

По итогам практического занятия студенты составляют и предоставляют преподавателю отчет о проделанной работе в установленной форме. В отчете указывается тема, цель работы, задание, выполненная практическая работа в соответствии с заданием, ответы на контрольные вопросы и делаются выводы о проделанной работе.

К ответам на контрольные вопросы студенты приступают после того, как выполнены все задания лабораторной или практической работы. Содержание контрольных вопросов может быть преподавателем изменено или дополнено.

Методическое пособие снабжено материалом необходимым для выполнения практических работ.

При выполнении практических работ студенты приобретают навыки и умения самостоятельной работы с учебной, справочной и технической литературой, что пригодится им в дальнейшей профессиональной деятельности.

Правила охраны труда при проведении практических занятий

Перед началом любой самостоятельной работы студентам необходимо прослушать инструктаж о мерах безопасности и о подготовке и уборке рабочего места.

1 Общие требования охраны труда.

1.1 К проведению практических занятий по учебной дисциплине допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

1.2 Студенты должны соблюдать правила поведения, расписание учебных занятий, установленный режим труда и отдыха.

1.3 В процессе работы студенты должны соблюдать порядок проведения практических занятий, правила личной гигиены, содержать в чистоте рабочее место.

2 Требования охраны труда перед началом работы.

2.1 Внимательно изучить содержание и порядок выполнения работы, а также безопасные приемы ее выполнения.

2.2 Подготовить к работе рабочее место, убрать посторонние предметы.

2.3 Проверить наличие необходимых инструментов.

3 Требования охраны труда во время работы.

3.1 Точно выполнять все указания преподавателя при проведении работы.

4 Требования охраны труда по окончании работы.

4.1 Привести в порядок рабочее место.

4.2 Проветрить помещение кабинета.

Лабораторная работа № 1

Исследование микроструктуры сталей и чугунов

Цель работы: ознакомиться с устройством и работой металлографического микроскопа; изучить микроструктуры углеродистых сталей и чугунов, выявить зависимость механических свойств от микроструктуры.

Оборудование и раздаточный материал: металлографический микроскоп, набор микрошлифов.

1. Исследование микроструктуры сталей

Феррит под микроскопом выглядит как светлые зерна, обычно полиэдрической формы (рис. 2).

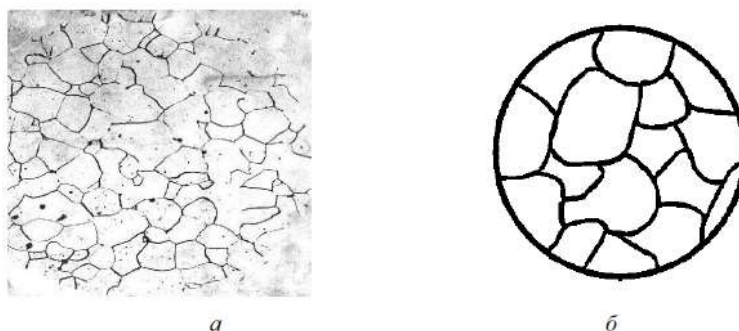


Рис. 6.2. Структура феррита: *а* – фотография микроструктуры; *б* – схема зарисовки

Игольчатый феррит появляется в перегретой стали, такая структура более хрупкая, поэтому нежелательна и устраняется термообработкой. Цементит при травлении раствором азотной кислоты - также светлый, но блестящий, в стали располагается по границам зерен, а в чугунах выглядит в виде светлых полей. Пластинчатый перлит под микроскопом темный, так как состоит из выступающих в результате травления пластинок цементита и находящихся в углублениях между ними, а поэтому затененных пластинок феррита. В эвтектоидной или заэвтектоидной сталях под оптическим микроскопом даже при небольших увеличениях хорошо видна пластинчатая структура перлита (рис. 6). Зернистый перлит выглядит светлым, т. к. зерна цементита не создают такой тени после травления, как пластинки.

Структура доэвтектоидной стали показана на рис. 8. Чем больше в стали углерода, тем больше перлита.

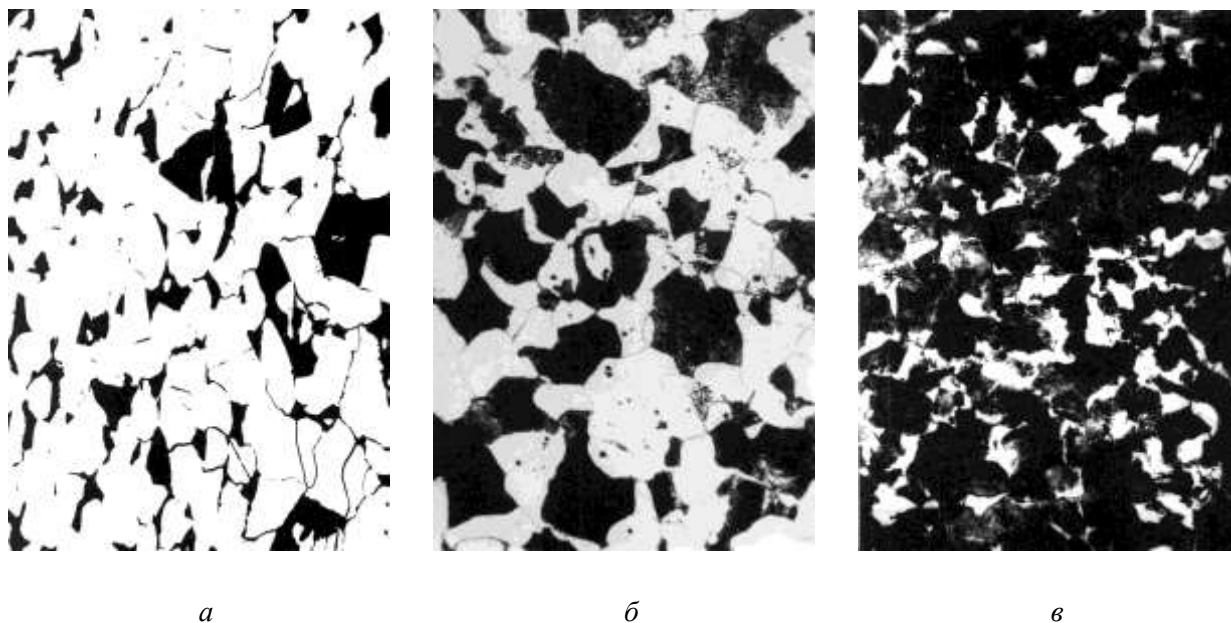


Рис. 8 Микроструктура стали: *а* - малоуглеродистая сталь (0,2%С), *б* - среднеуглеродистая сталь (0,4%С), *в* - высокоуглеродистая сталь (0,6%С). X500

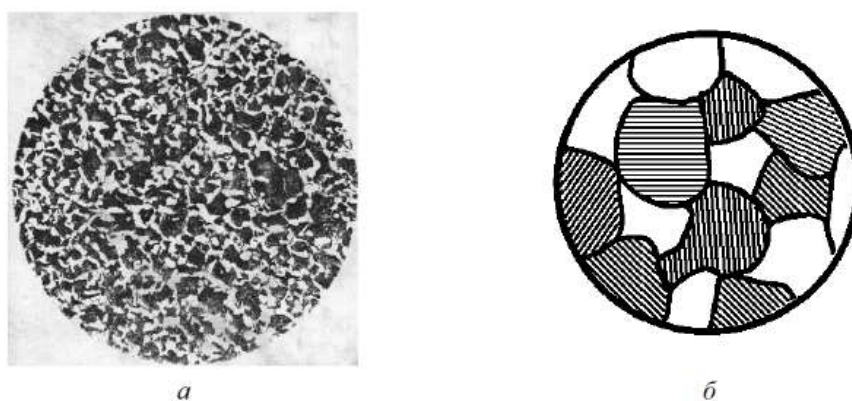


Рис. 6.4. Дозвтектоидная сталь, в структуре перлит и феррит:
а – фотография микроструктуры; *б* – схема зарисовки

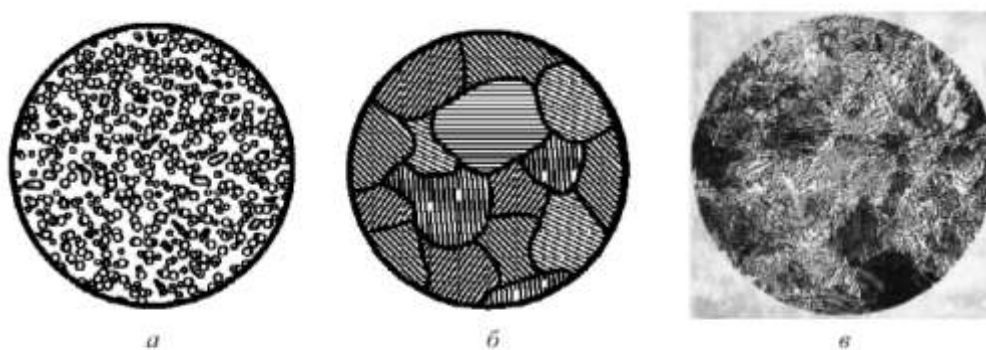


Рис. 6.3. Структура перлита: *а* – схема зарисовки зернистого перлита; *б* – схема зарисовки пластинчатого перлита; *в* – фотография микроструктуры пластинчатого перлита

В заэвтектоидной стали цементит в равновесной структуре располагается в виде сетки по границам зерен (рис. 9). По качеству стали подразделяются на обыкновенного качества, качественные и высококачественные.

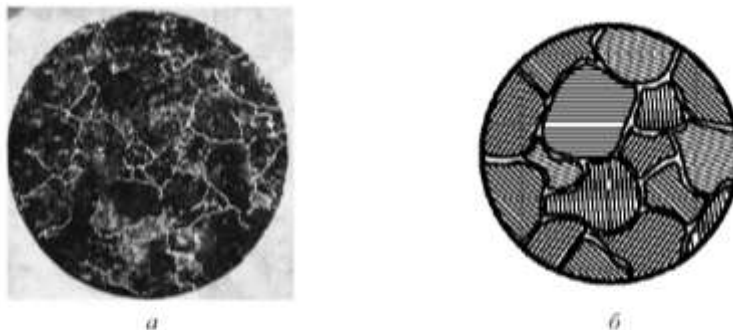


Рис. 6.5. Заэвтектоидная сталь, в структуре перлит и цементит: *а* – фотография микро-структуры; *б* – схема зарисовки

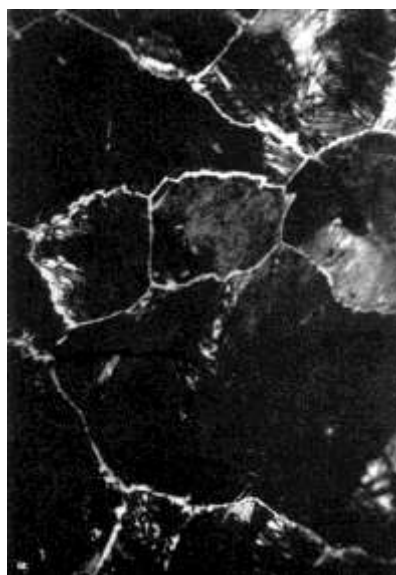


Рис. 9 Микроструктура заэвтектоидной стали У9-У13, структура П+Ц_г. X500

Рассмотрим, как пример, качественные углеродистые стали. Эти стали имеют точный химический состав и пониженное содержание вредных примесей. По назначению они делятся на конструкционные (машиностроительные) и инструментальные. Конструкционные качественные стали изготавливаются следующих марок: 05кп, 08кп, 10кп; 10, 15 кп, 15,...30, 35,...50, 55,...80, 85 (цифра означает сотые доли среднего процента углерода, кп - кипящая сталь, остальные –спокойные).

Инструментальные стали содержат повышенное количество углерода, в марке ставится буква «У» и цифра, означающая десятые доли среднего процента углерода: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13. Свыше 1,3% С нелегированные стали не выплавляют из-за сильного снижения механических свойств вследствие хрупкости. По микроструктуре

можно определить процентное содержание углерода, что используется на практике.

Количество углерода определяют по формулам:

для доэвтектоидной стали, %, $C = f_{\text{п}} \cdot 0,8$ %;

для заэвтектоидной стали, %, $C = f_{\text{п}} \cdot 0,8 \% + f_{\text{ц}} \cdot 6,67$ %,

где $f_{\text{ц}}$ – площадь, занятая цементитом; $f_{\text{п}}$ – площадь, занятая перлитом.

Например, если в структуре площадь феррита занимает 40%, а площадь перлита 60%, то можно составить такую пропорцию:

$$100\% \text{ П} - 0,8\% \text{ C}$$

$$60\% \text{ П} - X\% \text{ C}$$

$$X = \frac{60 \cdot 0,8}{100} = 0,48\% \text{ C}$$

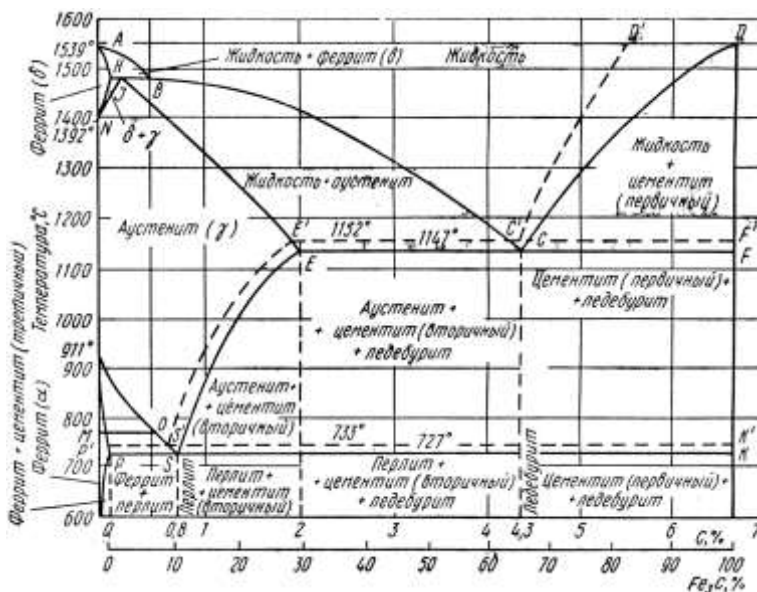
Углеродом содержащимся в феррите пренебрегаем. Таким образом, весь углерод в доэвтектоидной стали находится в перлите и составляет в нашем случае 0,48%. Если известно, что это сталь качественная, можно указать и марку стали - сталь 50. Для заэвтектоидной стали трудно определить площадь, занимаемую сеткой Цп, поэтому возможна большая погрешность при определении процентного содержания углерода.

2. Исследование микроструктуры чугунов

Чугунами называются сплавы железа с углеродом, содержащие не менее 2,14% углерода.

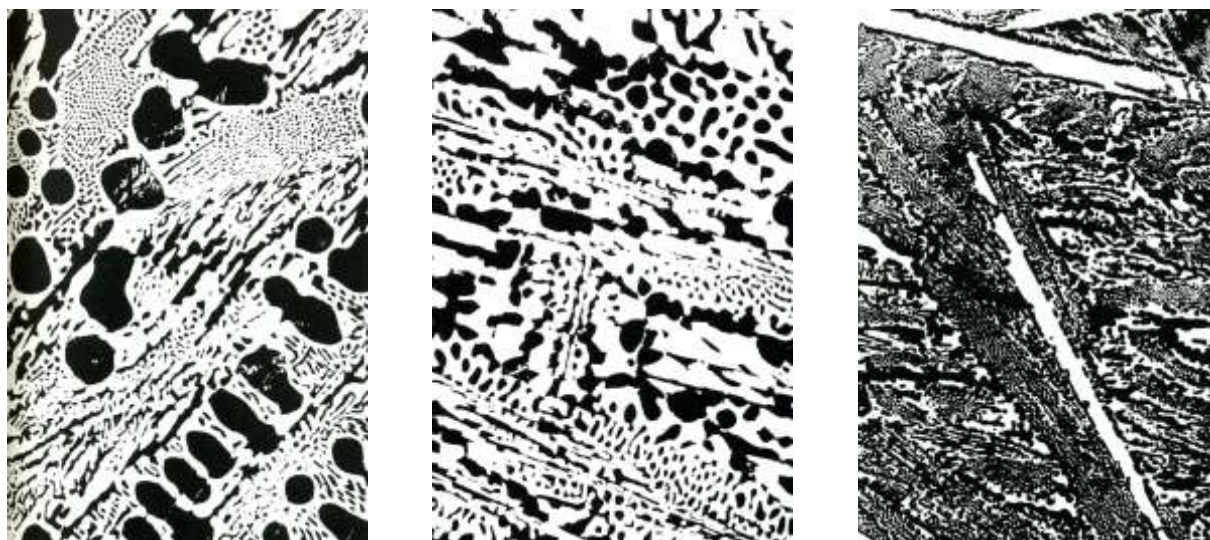
Углерод содержится в чугунах в свободном состоянии в виде так называемого графита или в связанном состоянии в виде цементита, т.е. карбида железа (Fe_3C). Может также присутствовать в обеих разновидностях. Различают следующие виды чугунов: белые, серые, ковкие, высокопрочные. Названия белые и серые связаны с цветом излома отливки чугуна.

Рис. 1. Диаграмма железо – цементит.



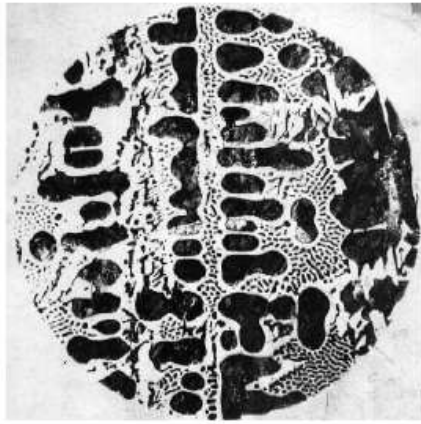
В *белом* чугуна весь углерод находится в связанном состоянии; т.е. в виде цементита, имеющего белый цвет. Кристаллизация белых чугунов идет в соответствии с диаграммой железо - цементит (в правой части, содержащей более 2,14% углерода) (рис. 1).

По микроструктуре различают белые, доэвтектические (рис. 2,а), эвтектические (рис. 2,б) и заэвтектические чугуны (рис. 2,в). В доэвтектических чугунах на линии АС из жидкости выделяется аустенит, в результате дальнейшего охлаждения при постоянной эвтектической температуре 1147°С оставшаяся жидкость превращается в эвтектику, называемую ледебуритом, который состоит из аустенита и первичного цементита. При дальнейшем охлаждении (ниже 1147°С) из аустенита, как свободного, так и входящего в ледебурит, выделяется вторичный цементит. При температуре 727°С, содержание углерода в аустените снижается до 0,8%, и он превращается в перлит. Ниже 727°С никаких структурных превращений уже не наблюдается. Таким образом, при комнатной температуре микроструктура доэвтектического чугуна состоит из вторичного цементита, перлита и ледебурита. Часто этот ледебурит называют превращенным. Из-за того, что в момент образования ледебурит состоит из аустенита и первичного цементита. После происходящих превращений микроструктура (ниже 727°С) состоит из вторичного цементита, перлита и первичного цементита. Микроструктура эвтектического чугуна (4,3% углерода) состоит из превращенного ледебурита. У заэвтектического чугуна (более 4,3% углерода) микроструктура содержит первичный цементит и превращенный ледебурит. Микроструктуры чугунов указанных трех типов представлены на рис. 2.

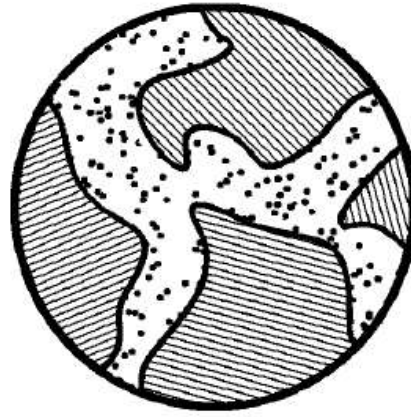


а) Доэвтектический чугун. Содержит 2,14 - 4,3% С. Структура П+Ц₁₁+Л. х500
 б) Эвтектический чугун. Содержит 4,3% С. Структура Л, но светлой основе Ц округлые темные зерна П. х500
 в) Эвтектический чугун. Содержит 4,3 - 6,67% С. Структура Ц₁+Л. х500

Рис. 2 Белые чугуны

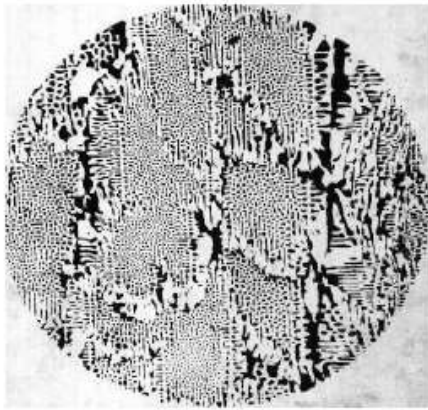


a

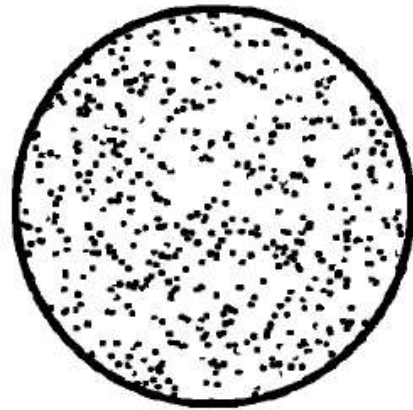


б

Рис. 7.2. Дозвтектический белый чугун: *a* – фотография микроструктуры; *б* – схема зарисовки

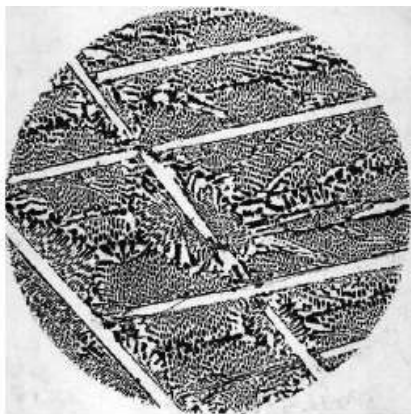


a

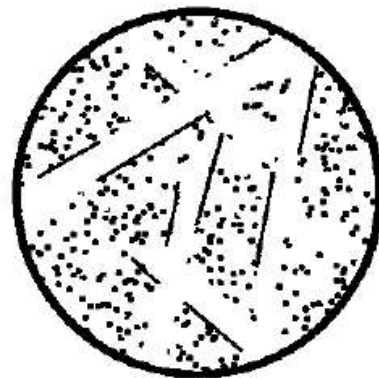


б

Рис. 7.1. Эвтектический белый чугун: *a* – фотография микроструктуры; *б* – схема зарисовки



a



б

Рис. 7.3. Заэвтектический белый чугун: *a* – фотография микроструктуры; *б* – схема зарисовки

Белые чугуны отличаются высокой твердостью, и износоустойчивостью, но вместе с тем и большой хрупкостью, плохо поддаются обработке резанием. Все эти качества связаны с присутствием большого количества цементита. Белые чугуны из-за указанных свойств имеют малое применение. В основном применяют только доэвтектический чугун, содержащий меньшие количества цементита, структура чугуна в отливках зависит в первую очередь от химического состава и скорости кристаллизации. Одни химические элементы способствуют выделению углерода в виде графита (графитизаторы), а другие - выделению углерода в виде цементита (отбеливающие). Активные графитизаторы: Si, C, Cu, Al, Ni; отбеливающие элементы: Mn, S, Cr. Медленная скорость охлаждения при затвердевании отливки способствует процессу графитизации, а ускоренная приводит к отбелу. Чаще используют так называемые отбеленные отливки, у которых на определенную глубину с поверхности имеется структура белого чугуна, а сердцевина представляет собой серый чугун (в структуре наблюдается графит). Отливки из таких, чугунов отличаются меньшей хрупкостью, но их поверхность обладает повышенной твердостью и износоустойчивостью. Примером подобных чугунов являются чугуны для вагонных колес с отбеленным ободом. для лемехов плугов с отбеленным носом и лезвием, некоторых прокатных валков, мукомольных валков и т. д. Отливки из белого чугуна могут быть также полуфабрикатом, из которых путем отжига (томления) получают ковкий чугун (см. ниже).

В **серых** чугунах углерод присутствует главным образом в свободном состоянии в виде графита.

В обычном сером чугуне этот графит имеет пластинчатую (чешуйчатую) форму, хорошо виден на нетравленном шлифе (рис. 3,а). После травления реактивом выявляется структура металлической основы. Она может быть ферритной (рис. 3,б), феррито-перлитной (рис. 3,в) или перлитной (рис. 3,г). Другими словами, такие структуры соответствуют доэвтектоидной и эвтектоидной сталям. Другую часть структуры серого чугуна - графит - называют неметаллической частью. В ферритном чугуне весь углерод находится в виде графита. В других чугунах содержится углерод также и в виде цементита, входящего в перлит.



а) Ферритный серый чугун (Ф+Г). х500

б) Феррито-перлитный серый чугун (Ф+П+Г). х500

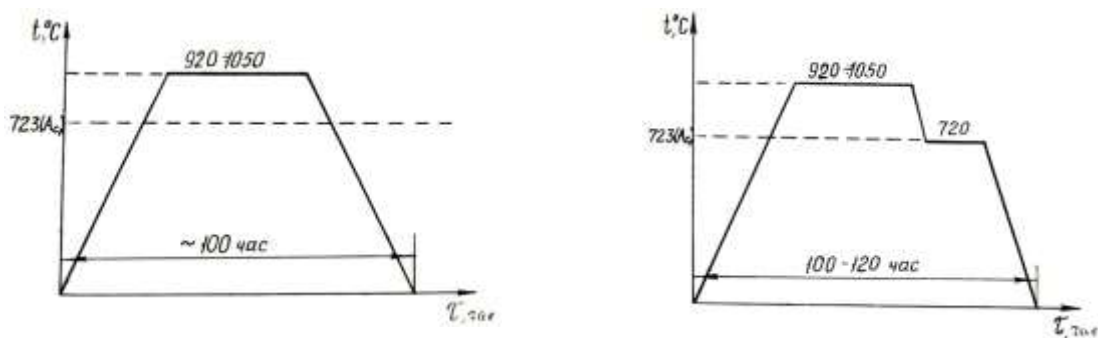
в) Перлитный серый чугун (П+Г). х500

Рис. 3 Структура металлической основы серого чугуна.

Иногда серый чугун называют «смесью» стали и графита. Графит имеет почти нулевую прочность, поэтому пластинки графита играют роль надрезов, ослабляющих металлическую основу структуры.

Наиболее прочен **перлитный серый** чугун, а относительно более пластичен **ферритный**. На свойства чугуна большое влияние оказывает не только количество графита, но и его размеры, форма и расположение. Кроме пластинчатого графита, находящегося в обычном чугуне, более благоприятны круглая и хлопьевидная формы (см. ниже «высокопрочные» и «ковкие» чугуны). В сером чугуне желательно, чтобы графит был мелкий (тонкий), равномерно распределенный. Нежелательно наличие скоплений и графитной сетки. В маркировке серых чугунов две цифры указывают предел прочности при растяжении в кгс/мм² (СЧ-σ_в), например, СЧ 20. По механическим свойствам обыкновенные серые чугуны значительно уступают ковким и высокопрочным (см. ниже).

Ковкий чугун получается из белого путем отжига (томления). Режим отжига представлен на рис. 4 для получения ковкого чугуна с перлитной структурой (рис. 4,а) и для получения ковкого чугуна с ферритной структурой (рис. 4,б). Таким образом получают ковкий чугун (рис. 5, б, в) из белого (рис. 5, а). Для ковких чугунов характерна хлопьевидная форма графита. Различают по структуре металлической основы ковкие чугуны ферритные, феррито-перлитные и перлитные. Более пластичны ковкие чугуны ферритные, а более твердые; и прочные перлитные. Маркируются ковкие чугуны, например, так - КЧ37-12, где первые цифры указывают минимальный предел прочности при растяжении в кгс/мм², а вторые - относительное удлинение в %.



а) График отжига на перлитный ковкий чугун. б) График отжига на ферритный ковкий чугун.

Рис. 4 Графитизирующий отжиг.



а) Доэвтектический белый чугун. (2,2 – 2,4%) (П+Ц+Л) x500



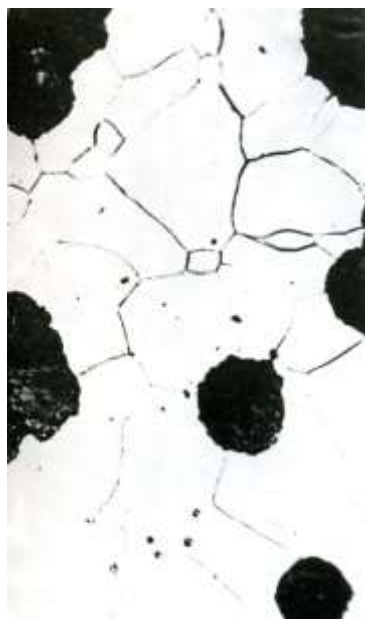
б) Ферритный ковкий чугун. x500



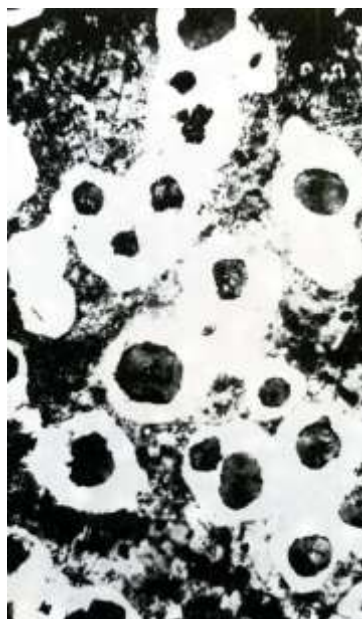
в) Перлитный ковкий чугун. x500

Рис. 5 Получение ковкого чугуна.

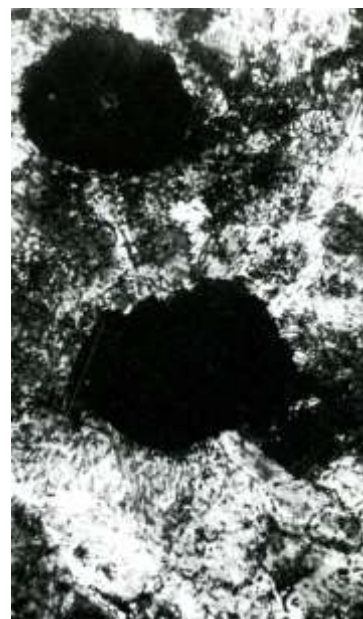
Высокопрочный чугун получается путем модифицирования жидкого чугуна магнием (реже церием или иттрием). Высокопрочные чугуны имеют шаровидную (глобулярную) форму графита. Металлическая основа может быть ферритной (рис. 6,а), феррито-перлитной (рис. 6,б) или перлитной. (рис. 6,в) Принцип маркировки тот же, что и у ковкого чугуна, например, ВЧ60-2. Высокопрочные чугуны имеют наибольшую прочность среди всех чугунов.



а) Ферритный высокопрочный чугун.
Структура Ф+Г. x500



б) Феррито-перлитный высокопрочный чугун.
Структура Ф+П+Г. x500



в) Перлитный высокопрочный чугун. Структура П+Г. x500

Рис. 6 Структура высокопрочных чугунов.

Металлическая основа	Форма графитных включений		
	Пластинчатая	Хлопьевидная	Шаровидная
Феррит			
Феррит + Перлит			
Перлит			

Рис. 7.4. Форма графитных включений

Порядок выполнения:

Исследовать под микроскопом и описать микроstructures образцов различных сталей.

1. Заполнить таблицу (зарисовать микроstructure).

углеродистая сталь		
Доэвтектоидная	Эвтектоидная	Заэвтектоидная
		

2. Исследовать под микроскопом и описать микроstructures образцов различных чугунов.

3. Заполнить таблицу.

а) белый чугун		
Доэвтектический	Эвтектический	Заэвтектический
б) серый чугун		
с ферритовой основой	с феррито-перлитовой основой	с перлитовой основой
б) ковкий чугун		
с ферритовой основой	с феррито-перлитовой основой	с перлитовой основой
в) высокопрочный чугун		
с ферритовой основой	с феррито-перлитовой основой	с перлитовой основой

Контрольные вопросы:

1. Какие сплавы называют сталями?
2. Что такое феррит? Сколько углерода содержит? Каковы его механические свойства?
3. Как классифицируются углеродистые стали?
4. Как маркируются качественные углеродистые стали?
5. Какие сплавы называются чугунами?
6. Представьте классификацию чугунов.
7. Дайте характеристику белых чугунов.
8. Дайте характеристику серых чугунов.
9. Дайте характеристику ковких чугунов.
10. Дайте характеристику высокопрочных чугунов.
11. Как маркируются чугуны?

Лабораторная работа № 2

Определение твердости металлов методом Бринелля

Цель работы: самостоятельно производить испытание на твердость по Бринеллю

Оборудование и раздаточный материал: автоматический рычажный пресс; образцы стали и сплавов цветных металлов различной толщины; лупу для измерения диаметра отпечатка; наждачное точило; напильник.

Схема испытания на твёрдости по Бринеллю

Испытание на твёрдость по Бринеллю производится вдавливанием в испытываемый образец стального шарика определённого диаметра под действием заданной нагрузки в течение определённого времени.

Схема испытания на твёрдость по Бринеллю дана на рис. 8.1. В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Отношение давления P к поверхности полученного отпечатка (шарового сегмента) F даёт число твёрдости, обозначаемое HB :

$$HB = \frac{P}{F} \text{ кг/мм}^2.$$

Поверхность F шарового сегмента

$$F = \pi \cdot D \cdot h,$$

, где D — диаметр вдавливаемого шарика в мм;

h — глубина отпечатка в мм.

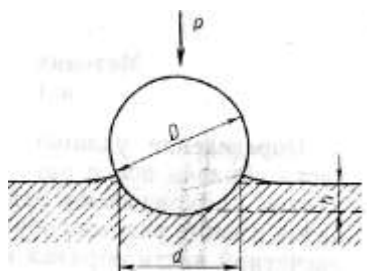


Рис. 8.1. Схема испытания на твёрдость по способу Бринелля

Так как глубину отпечатка h измерить трудно, а гораздо проще измерить диаметр отпечатка d , то целесообразно величину h выразить через диаметры шарика D и отпечатка d :

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \text{ мм.}$$

Тогда поверхность F шарового сегмента

$$F = \frac{\pi \cdot D}{2} \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \text{ мм}^2,$$

а число твердости по Бринеллю будет характеризоваться формулой

$$HB = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ кг/мм}^2.$$

Прибор для испытания на твердость по Бринеллю

Наиболее распространённым прибором для испытания на твёрдость по Бринеллю является автоматический рычажный пресс.

Автоматический рычажный пресс. Схема автоматического рычажного пресса показана на рис. 8.2. В верхней части станины 1 имеется шпиндель 2, в который вставляется наконечник с шариком 3. Может быть установлен один из трех наконечников — с шариком диаметром 10,5 или 2,5 мм. Столик 4 служит для установки на нем испытываемого образца 5. Вращением по часовой стрелке рукоятки 6 приводят в движение винт 7, который перемещаясь вверх, поднимает столик 4, и образец 5 прижимается к шарiku 3. При вращении рукоятки 6 до тех пор, пока указатель 8 не станет против риски, пружина 9 сжимается до отказа и создаётся предварительная нагрузка в 100 кг.

Электродвигатель 10, который включают нажатием кнопки, расположенной сбоку пресса, приводит во вращение эксцентрик 11. При вращении эксцентрика 11 шатун 12, перемещаясь вниз, опускает рычаг 13 и соединенную с ним подвеску 14 с грузами 15, создавая этим нагрузку на шарик, который вдавливается в образец. При дальнейшем вращении эксцентрика 11 шатун 12, перемещаясь вверх, поднимает рычаг 13 и подвеску 14 с грузами 15, снимая этим нагрузку с шарика. Когда рычаг и подвеска с грузами достигнут исходного положения, автоматически дается сигнал звонком и автоматически выключается электродвигатель.

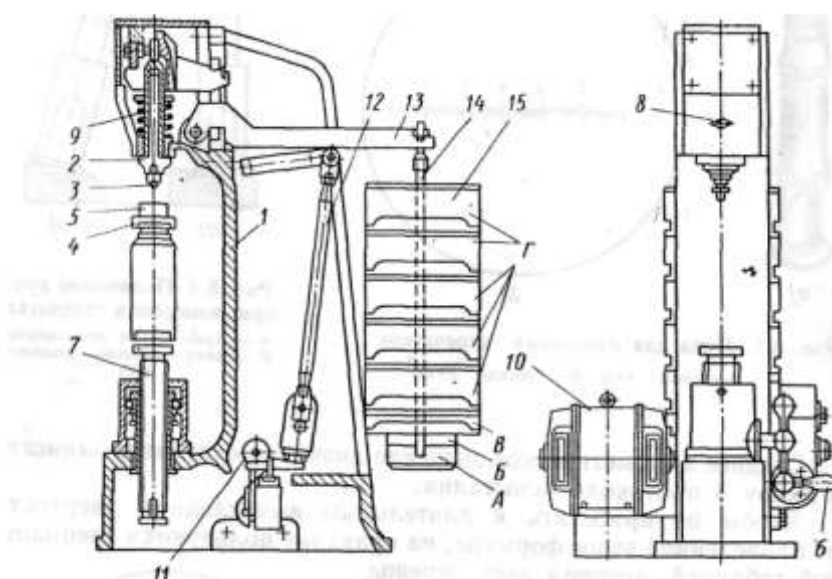


Рис. 8.2. Схема автоматического рычажного пресса для определения твёрдости

Вращением рукоятки 6 против часовой стрелки опускают столик 4.

В зависимости от грузов, установленных на подвеске 14, создаётся различная нагрузка (табл. 6).

Выбор диаметра шарика и нагрузки. Шарики различного диаметра ($D = 10, 5$ и $2,5 \text{ мм}$) применяют в зависимости от толщины испытываемого материала.

Нагрузку P выбирают в зависимости от качества испытываемого материала по формуле

$$P = K \cdot D^2,$$

, где K — постоянная для данного материала величина, равная 30; 10, или 2,5.

В табл. 7 приведены данные по выбору диаметра шарика и нагрузки в зависимости от материала и толщины испытываемого образца (по ГОСТу 9012—59). При испытании шариками разных диаметров (10; 5 и 2,5 мм) применяют разные нагрузки; при испытании более мягких металлов нагрузка меньше.

Таблица 6

Подбор грузов для нагружения автоматического рычажного пресса

Нагрузка в кГ	Наименование грузов, обеспечивающих необходимую нагрузку (см. рис. 8.2)	
187,5	А	Здесь А — подвеска, создающая нагрузку в 187,5 кГ; Б — малый груз, создающий нагрузку в 62,5 кГ; В — средний груз, создающий нагрузку в 250 кГ; Г — большой груз, создающий нагрузку в 500 кГ.
250	А+Б	
500	А+Б+В	
750	А+Б+Г	
1000	А+Б+В+Г	
3000	А+Б+В+5Г	

**Выбор диаметра шарика и нагрузки в зависимости от твердости и толщины
испытываемого образца**

Материал	Интервал твёрдости в числах Бринелля	Минимальная толщина испытываемого образца в мм	Соотношение между нагрузкой P и диаметром шарика D	Диаметр шарика D в мм	Нагрузка P в кГ	Выдержка под на- грузкой в сек
Чёрные металлы	140—450	От 6 до 3 » 4 » 2 Менее 2	$P=30D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	10
То же	<140	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P=10D^2$	10,0 5,0 2,5	1000 250 62,5	10
Цветные металлы	>130	От 6 до 3 » 4 » 2 Менее 2	$P=30D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	30
То же	35—130	От 9 до 3 » 6 » 3 Менее 3	$P=10D^2$	10,0 5,0 2,5	1000 250 62,5	30
То же	8—35	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P=2,5D^2$	10,0 5,0 2,5	250 62,5 15,6	60

С уменьшением толщины материала применяют шарик меньшего диаметра (5; 2,5 мм) и небольшую нагрузку. Условия испытания записывают следующим образом: например, *НВ 10 (3000) 30* обозначает, что испытание проводили шариком диаметром 10 мм под нагрузкой 3000 кГ, с выдержкой 30 сек.

Выбранные условия испытания (диаметр шарика и нагрузку) надо записать в графу 2 протокола испытания.

Подготовка образца для испытания. Перед испытанием поверхность образца, в которую будет вдавливаться шарик, обрабатывают наждачным камнем или напильником, чтобы она была ровной, гладкой и не было окалины или других дефектов.

При обработке поверхности образец не должен нагреваться выше 100—150° С.

Подготовка поверхности образца необходима для получения правильного отпечатка и чтобы края его были отчётливо видны для измерения.

Порядок проведения испытания

1. Установить на подвеску 14 (см. рис. 8.2) грузы 15, соответствующие выбранной для испытания нагрузке.
2. Наконечник с шариком вставить в шпиндель 2 и укрепить.
3. На столик 4 поместить испытываемый образец 5. Образец должен плотно лежать на столике. Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее диаметра шарика.
4. Вращением рукоятки 6 по часовой стрелке поднять столик и прижать образец 5 к шарiku 3; продолжать вращать рукоятку 6 до тех пор, пока указатель 8 не станет против риски.
5. Нажатием кнопки включить электродвигатель.
6. После сигнала звонком вращением против часовой стрелки рукоятки 6 опустить столик 4 и снять с него образец с полученным отпечатком.
7. Измерить полученный отпечаток.
8. Определить твёрдость.

Методика измерения отпечатка и определение твёрдости

Полученный отпечаток измеряют лупой или микроскопом в двух взаимно перпендикулярных направлениях, диаметр отпечатка определяется как среднее арифметическое из двух измерений. Лупа (рис. 8.3, а) имеет шкалу (рис. 8.3, б), малое деление которой равно 0,1 мм. Лупу нижней опорной частью надо плотно установить на испытываемую поверхность образца над отпечатком (рис. 8.4); если лупа не имеет специальной лампочки для освещения поверхности, вырез (окно) в нижней части лупы обратить к свету. Поворачивая окуляр, надо добиться, чтобы края отпечатка были резко очерчены.

Затем, передвигая лупу, надо один край отпечатка совместить с началом шкалы (рис. 8.5). Прочитать деление шкалы, с которым совпадает противоположный край отпечатка. Данный отсчёт и будет соответствовать размеру диаметра отпечатка (на рис. 8.5 диаметр отпечатка $d = 4,20$ мм). Затем лупу или образец надо повернуть на 90° и измерить диаметр отпечатка второй раз.

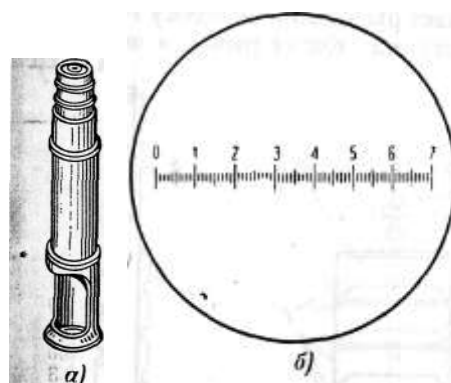


Рис. 8.3. Лупа для измерения отпечатков:

a — внешний вид; *б* — шкала лупы

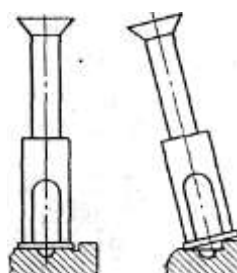


Рис. 8.4. Положение лупы при измерении отпечатка:

a — правильное положение; *б* — неправильное положение

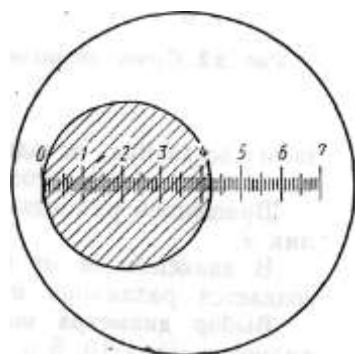


Рис. 8.5. Отсчет по шкале лупы

Среднее арифметическое значение диаметра отпечатка записать в графу 3 протокола испытания.

Чтобы не прибегать к длительным вычислениям твёрдости по приведённой выше формуле, на практике пользуются специальной таблицей, которая даёт перевод диаметра отпечатка в число твердости *HB*.

В заводской практике часто для характеристики твёрдости пользуются диаметром отпечатка *d HB мм* без перевода в число твёрдости.

По табл. 8 сделать перевод диаметра отпечатка и полученное число твердости *HB* записать в графу 6 протокола испытания.

Для получения правильной характеристики твёрдости данного материала необходимо провести ещё два повторных испытания на твёрдость того же образца; полученные результаты записать в графы 4 и 5 (диаметры отпечатков), 7 и 8 (числа твёрдости), определить средний результат и записать его в графу 9 протокола испытания. При повторных испытаниях центр отпечатка должен находиться от центра отпечатка на расстоянии не менее двух диаметров шарика.

Таблица 8

Таблица для определения чисел твердости *HB* (по ГОСТу 9012—59)

Диаметр отпечатка d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$	Число твёрдости по Бринеллю при нагрузке P кГ, равной			Диаметр отпечатка d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$	Число твёрдости по Бринеллю при нагрузке P кГ, равной		
	$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$		$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$
2,89	448	—	—	3,80	255	84,9	21,2
2,90	444	—	—	3,82	252	84,0	21,0
2,92	438	—	—	3,84	249	83,0	20,8
2,94	432	—	—	3,86	246	82,1	20,5
2,96	426	—	—	3,88	244	81,3	20,3
2,98	420	—	35,0	3,90	241	80,4	20,1
3,00	415	—	34,6	3,92	239	79,6	19,9
3,02	409	—	34,1	3,94	236	78,7	19,7
3,04	404	—	33,7	3,96	234	77,9	19,5
3,06	398	—	33,2	3,98	231	77,1	19,3
3,08	393	—	32,7	4,00	229	76,3	19,1
3,10	388	129	32,3	4,02	226	75,5	18,9
3,12	383	128	31,9	4,04	224	74,7	18,7
3,14	378	126	31,5	4,06	222	73,9	18,5
3,16	373	124	31,1	4,08	219	73,2	18,3
3,18	368	123	30,7	4,10	217	72,4	18,1

3,20	363	121	30,3	4,12	215	71,7	17,9
3,22	359	120	29,9	4,14	213	71,0	17,7
3,24	354	118	29,5	4,16	211	70,2	17,6
3,26	350	117	29,2	4,18	209	69,5	17,4
3,28	345	115	28,8	4,20	207	68,8	17,2
3,30	341	114	28,4	4,22	204	68,2	17,0
3,32	337	112	28,1	4,24	202	67,5	16,9
3,34	333	111	27,7	4,26	200	66,8	16,7
3,36	329	110	27,4	4,28	198	66,2	16,5
3,38	325	108	27,1	4,30	197	65,5	16,4
3,40	321	107	26,7	4,32	195	64,9	16,2
3,42	317	106	26,4	4,34	193	64,2	16,1
3,44	313	104	26,1	4,36	191	63,6	15,9
3,46	309	103	25,8	4,38	189	63,0	15,8
3,48	306	102	25,5	4,40	187	62,4	15,6
3,50	302	101	25,2	4,42	185	61,8	15,5
3,52	298	99,5	24,9	4,44	184	61,2	15,3
3,54	295	98,3	24,6	4,46	182	60,6	15,2
3,56	292	97,2	24,3	4,48	180	60,1	15,0
3,58	288	96,1	24,0	4,50	179	59,5	14,9
3,60	285	95,0	23,7	4,52	177	59,0	14,7
3,62	282	93,9	23,5	4,54	175	58,4	14,6
3,64	278	92,8	23,2	4,56	174	57,9	14,5
3,66	275	91,8	22,9	4,58	172	57,3	14,3
3,68	272	90,7	22,7	4,60	170	56,8	14,2
3,70	269	89,7	22,4	4,62	169	56,3	14,1

3,72	266	88,7	22,2	4,64	167	55,8	13,9
3,74	263	87,7	21,9	4,66	166	55,3	13,8
3,76	260	86,8	21,7	4,68	164	54,8	13,7
3,78	257	85,8	21,5				

Продолжение табл. 8

Диаметр отпечатка d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$	Число твёрдости по Бринеллю при нагрузке P $кГ$, равной			Диаметр отпечатка d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$	Число твёрдости по Бринеллю при нагрузке P $кГ$, равной		
	$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$		$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$
4,70	163	54,3	13,6	5,36	123	40,9	10,2
4,72	161	53,8	13,4	5,38	122	40,5	10,1
4,74	160	53,3	13,3	5,40	121	40,2	10,1
4,76	158	52,8	13,2	5,42	120	39,9	9,97
4,78	157	52,3	13,1	5,44	119	39,6	9,90
4,80	156	51,9	13,0	5,46	118	39,2	9,82
4,82	154	51,4	12,9	5,48	117	38,9	9,73
4,84	153	51,0	12,8	5,50	116	38,6	9,66
4,86	152	50,5	12,6	5,52	115	38,3	9,58
4,88	150	50,1	12,5	5,54	114	38,0	9,50
4,90	149	49,6	12,4	5,56	113	37,7	9,43
4,92	148	49,2	12,3	5,58	112	37,4	9,35
4,94	146	48,8	12,2	5,60	111	37,1	9,27
4,96	145	48,4	12,1	5,62	110	36,8	9,20
4,98	144	47,9	12,0	5,64	110	36,5	9,14
5,00	143	47,5	11,9	5,66	109	36,3	9,07
5,02	141	47,1	11,8	5,68	108	36,0	9,00
5,04	140	46,7	11,7	5,70	107	35,7	8,93
5,06	139	46,3	11,6	5,72	106	35,4	8,86

5,08	138	45,9	11,5	5,74	105	35,1	8,79
5,10	137	45,5	11,4	5,76	105	34,9	8,73
5,12	135	45,1	11,3	5,78	104	34,6	8,66
5,14	134	44,8	11,2	5,80	103	34,3	8,59
5,16	133	44,4	11,1	5,82	102	34,1	8,53
5,18	132	44,0	11,0	5,84	101	33,8	8,46
5,20	131	43,7	10,9	5,86	101	33,6	8,40
5,22	130	43,3	10,8	5,88	99,9	33,3	8,33
5,24	129	42,9	10,7	5,90	99,2	33,1	8,26
5,26	128	42,6	10,6	5,92	98,4	32,8	8,20
5,28	127	42,2	10,6	5,94	97,7	32,6	8,14
5,30	126	41,9	10,5	5,96	96,9	32,3	8,08
5,32	125	41,5	10,4	5,98	96,2	32,1	8,02
5,34	124	41,2	10,3	6,00	95,5	31,8	7,96

Примечание. Диаметры отпечатков в таблице даны для шарика $D = 10$ мм. Для определения по таблице числа твердости при испытании шариком диаметром 5 мм диаметр отпечатка надо умножить на 2, а при испытании шариком в 2,5 мм надо умножить на 4.

Протокол испытания на твердость по Бринеллю

Толщина и материал образцов

Тип прессы

№ по пор.	Условия испытания (диаметр шарика в мм и нагрузка в кГ)	Диаметр отпечатка в мм			Твёрдость HB			
		отпечаток			отпечаток			Среднее
		1-й	2-й	3- и	1-й	2-а	3-й	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение твердости металлов, напишите формулу для ее определения.
2. Опишите устройство прибора Бринелля.
3. Опишите порядок проведения испытания.

Отчет по практической работе

Определение твердости по Бринеллю

Цель

работы: _____

Определение твердости и формула для определения числа твердости

Принцип определения твердости

Устройство

прибора _____

[illegible]

$\sigma=0,36$ HB

Таблица 1

Величина	Значение
Материал образца	сталь
Толщина образца, мм	15
Нагрузка Р, кг	3000
Диаметр шарика D	10
Диаметр отпечатка d	3,22
Твердость стали НВ	
Предел прочности стали, определенный по ее твердости	

P =

$$\mathbf{HB} =$$
$$\sigma =$$

Лабораторная работа № 3

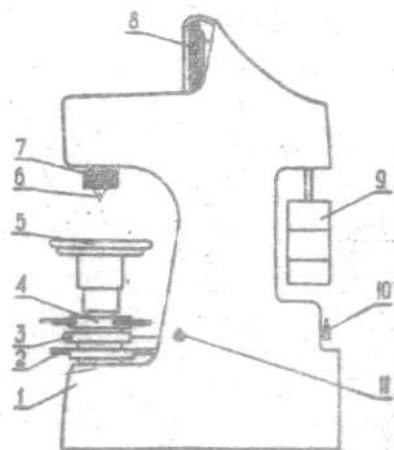
Определение твердости металлов методом Роквелла.

Цель работы: самостоятельно производить испытание на твердость по Роквеллу.

Оборудование и раздаточный материал: прибор Роквелла; образцы стали.

Число твердости по Роквеллу определяют по глубине вдавливания индикатора. Для устранения зазора между образцом и индикатором прикладывается предварительная нагрузка 10кгс вручную (вращением маховичка на твердомере), при этом маленькая стрелка на индикаторе 8 должна дойти до красной точки. Если стрелка перешла красную точку, то надо изменить место укола и заново прикладывать вручную предварительную нагрузку, а затем основную.

Твердость по Роквеллу определяется по трем шкалам (ГОСТ 9013-59)-А,В и



С. Выбор шкалы зависит от испытываемого материала

Рис.1 Схема твердомера по Роквеллу:

- 1 – корпус 2 – клавиша 3 – барабан 4 – маховичок 5 – стол
6 – наконечник 7 – ограничитель 8 – индикатор 9 – подвеска с грузами
10 – флажок 11 – переключатель

Шкала А и С имеет по 100 делений, что соответствует общему углублению на 1,2мм ; шкала В имеет 130 делений, что составляет глубину вдавливания 0,26 мм. Глубина внедрения под действием основной нагрузки составляет $\frac{h-h_0}{0,002}$, где h – глубина внедрения наконечника под действием суммарной нагрузки , мм h_0 – глубина внедрения наконечника под действием предварительной нагрузки 10 кгс, мм: 0,002мм – цена деления шкалы (стрелка передвинется на одно деление шкалы, если наконечник углубится на 0,002 мм) .

Обозначение шкалы	Общая нагрузка	Наконечник (индентор)	Цвет шкалы, число единиц на шкале.	Обозначение твердости	Область применения.
A	60кгс	алмазный конус	черная 100 делений	HRA	Твердые сплавы, сталь после химико – термической обработки (цементация, азотирования, цианирования)
B	100кгс	шарик 1,588мм	красная 130 делений	HRB	Накаленная сталь, цветные сплавы
C	150кгс	алмазный конус	черная 100 делений	HRC	Закаленная сталь

Чем глубже внедряется наконечник , тем мягче материал и тем больше число.

Это неудобно, т.к. маленькой твердости соответствует большое число. Поэтому число твердости выражают относительным числом, равным остатку: от всей шкалы отнимают глубину внедрения наконечника :

$$HRC(HRA) = 100 - \frac{h-h_0}{0,002} \quad , \text{где } 100 - \text{число деления на}$$

черной шкале;

$$HRB = 130 - \frac{h-h_0}{0,002} \quad , \text{где } 130 - \text{число деления на красной шкале.}$$

Измерение твердости производят следующим образом. Подвесив соответствующие грузы и вставив в оправку шарик или алмаз 6 (Рис.1)и при помощи маховика 4 образец подводится к алмазному конусу (шарику) и слегка вдавливаясь в него до достижения предварительной нагрузки 10кгс, что отмечается на циферблате индикатора установкой маленькой стрелки против красной точки. После этого необходимо поворотом барабана 3 совместить ноль черной шкалы (или 30 красной шкалы) с большой стрелкой. С помощью кнопки 2 включить электродвигатель. Плавным нажатием на клавишу 2 включить в работу привод нагружения. Груз 9 оказывает давление на алмаз (шарик). После окончания цикла нагружения с индикатора считывают непосредственную твердость образца.

Расстояние от центра отпечатка до края образца или до центра другого отпечатка должно быть не менее 1,5 мм при вдавливании шарика. Толщина образца должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка. Числа твердости по Роквеллу можно приближенно перевести в числа твердости по Бринеллю и наоборот, пользуясь табл.4. Быстрота

испытаний на приборе Роквелла и возможность измерять небольшие детали, так как отпечаток очень мал, дает этому способу преимущества перед способом Бринелля.

Измерение твердости образца по Роквеллу студент начинает с выбора шкалы, пользуясь таблицей 3. затем, установив нужные грузы и индикатор (алмазный конус или оправку с шариком), проводит 3 замера, результаты заносит в таблицу 5.

Результаты замера твердости по Роквеллу

№ пп.	Материал образца.	Толщина мм.	Шкала	Нагрузка; кгс.	Тип рабочего органа (шарик, алмазный конус).	Номер отпечатка .	Число твердости HR (A,B,C)	Среднее число твердости HR (A,B,C).

Твердость по Бринеллю	Твердость по Роквеллу			Твердость по Бринеллю	Твердость по Роквеллу		
	шкала				шкала		
	150кгс.С	100кгс.В	60 кгс.А		150кгс.С	100кгс.В	60кгс.А
782	72	-	88	235	23	99	63
744	69	-	87	228	22	98	62
713	67	-	85	223	21	97	61
683	65	-	84	217	20	97	61
652	63	-	83	212	19	96	60
627	61	-	82	207	18	95	60
600	59	-	81	202	-	94	59
578	58	-	80	196	-	93	58
555	56	-	79	192	-	92	58
532	54	-	78	187	-	91	57
512	52	-	77	183	-	89	56
495	51	-	76	179	-	88	56
477	49	-	76	174	-	87	55
460	48	-	75	170	-	86	55
444	47	-	74	166	-	85	54
430	45	-	73	163	-	84	53
418	44	-	73	159	-	83	53
402	43	-	72	156	-	82	52
387	41	-	71	153	-	81	52
375	40	-	71	149	-	80	51
364	39	-	70	146	-	78	50
351	38	-	69	143	-	76	50
340	37	-	69	140	-	76	-

332	36	-	68	137	-	76	-
321	35	-	68	134	-	74	-
311	34	-	67	131	-	72	-
302	33	-	67	128	-	71	-
293	31	-	66	126	-	69	-
286	30	-	66	124	-	69	-
277	29	-	65	121	-	67	-
269	28	-	65	118	-	66	-
262	27	-	64	116	-	65	-
				114	-	64	-
355	26	-	64	112	-	62	-
246	25	-	63	107	-	61	-
				109	-	59	-
241	24	100	63	105	-	58	-

Пример: Дан образец из закаленной стали. Выбираем шкалу С; ставим грузы 150 кг и в качестве рабочего органа используем алмазный конус. Результаты замеров: 58, 60, 61 заносим в таблицу и определяем твердость (среднее значение).

Контрольные вопросы:

1. Что такое твёрдость?
2. Принцип измерения твёрдости по Бринеллю?
3. У каких материалов определяют НВ?
4. Как подбирают диаметр шарика, величину нагрузки на шарик?
5. Принцип измерения твёрдости по Роквеллу?
6. Какая нагрузка и какой индентор используются при измерении твёрдости HRA?
Для каких случаев используется шкала А?
7. Для каких случаев используется шкала В (HRB)? Какой индентор? Нагрузка?
8. Для каких случаев используется шкала С (HRC)? Какой индентор? Нагрузка?

Отчет по практической работе
Определение твердости по Роквеллу

Цель

работы: _____

Определение твердости и формулы для определения числа твердости _____

Принцип определения твердости _____

Устройство

прибора _____

[illegible]

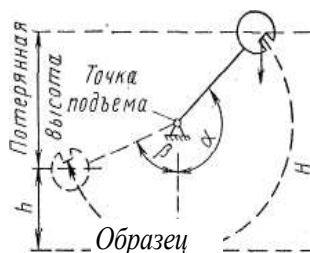
Лабораторная работа № 4

Изучение принципа определения ударной вязкости металлов

Цель работы:

Цель работы — научиться самостоятельно производить испытание на ударную вязкость.

Изучить определение величины ударной вязкости; устройство копра; порядок подготовки образца; порядок подготовки копра и проведение испытания.



Приборы, материалы и инструмент

Для проведения работы необходимо иметь: маятниковый копер; образцы для испытания на удар; штангенциркуль; шаблоны.

Определение ударной вязкости

Испытание на ударную вязкость производится изломом образца падающим с определенной высоты маятником.

Работа удара A_n , затраченная на излом образца, определяется из разности энергии маятника в положении его до и после удара (рис. 1):

Рис.1.Схема испытания

$$A_n = P (H - h) = PI (\cos \beta - \cos \alpha) \text{ Дж},$$

где P — вес маятника в Н;

H — высота подъема центра тяжести маятника до удара в м;

h — высота взлета маятника после удара в м;

I — длина маятника, т. е. расстояние от его оси до центра тяжести, в м;

α и β — углы подъема маятника соответственно до и после излома образца в градусах.

Ударная вязкость (a_n), т. е. работа, израсходованная на ударный излом образца, отнесенная к поперечному сечению образца в месте надреза, определяется по формуле

$$a_n = A_n / S$$

где S — площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания в см².

Устройство маятникового копра

На станине 1 копра (рис. 2, а) на горизонтальной оси 2, подвешен маятник 3, представляющий собой стержень с прикрепленным к нему тяжелым плоским диском с ножом 4. Маятник, свободно качающийся вокруг оси 2, может быть поднят на определенную высоту и задержан там специальной защелкой 5.

На станине имеются две опоры 6, предназначенные для установки на них испытываемого образца 7. Стрелка 8 служит для указания на шкале 9 угла взлета маятника после разрушения им образца. При помощи рукоятки 10 натягивают ремень 11 и останавливают раскачивающийся маятник.

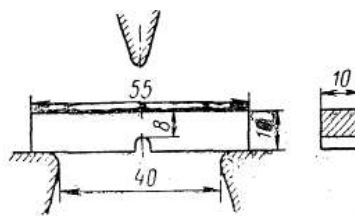
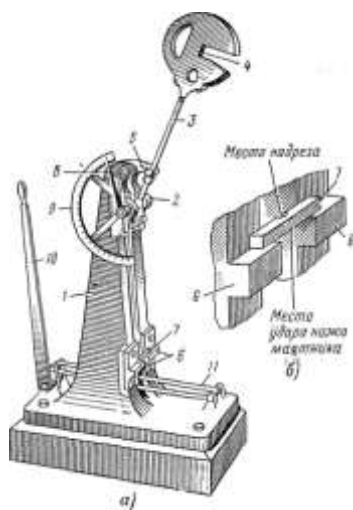


Рис.3. Образец для испытания на удар.

Рис. 2. Маятниковый копер:

а — общий вид; *б* — положение образца при
испытании

Подготовка образца для испытания

Для испытания на ударную вязкость применяют образец, показанный

на рис. 3. Образец измеряют с точностью до 0,1 мм; данные измерения записывают в графу 2 протокола испытания.

По данным измерения вычисляют площадь поперечного сечения образца и записывают в графу 3 протокола испытания.

Подготовка копра и проведение испытания

1. помощи шаблона 1 (рис. 4) установить опоры 2 симметрично относительно ножа маятника 3 и закрепить их.

2. Подвести стрелку к нулю до упора в штифт.

3. Поднять немного маятник и поместить образец 1 (рис. 5.) копра надрезом в сторону, противоположную удару ножа маятника.

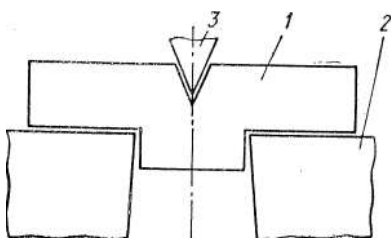
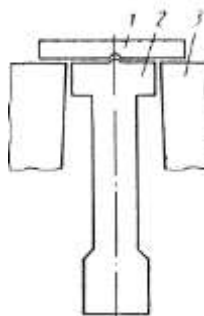
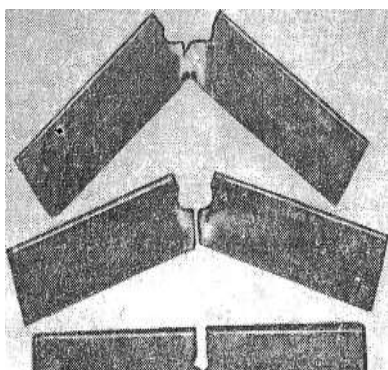


Рис. 4. Шаблон -для установки
опор симметрично относительно ножа
маятника

Рис.5. Шаблон для установки надреза образца симметрично относительно опор и ножа маятника



4. Поднять маятник в верхнее положение и закрепить защелкой 5 (см. рис. 2, а), при этом стрелка отклонится и будет указывать угол подъема маятника. Угол α начального подъема маятника записать в графу 4 протокола испытания.



Запрещается устанавливать образец, когда маятник поднят на полную высоту и установлен на защелку. В этом положении маятник представляет большую опасность для работающих, так как при случайном освобождении защелки может причинить тяжелые увечья.

5. Подвести стрелку к нулю шкалы до упора в штифт.

6. Отпустить защёлку и произвести удар по образцу.

7. Остановить качание маятника натяжением (при помощи рукоятки) ременного тормоза.

Рис. 12.6. Искривление образцов в зависимости от вязкости стали при испытании на удар (наверху — весьма вязкая сталь, образец не сломался), внизу — хрупкая сталь

8. Определить по шкале угол взлета маятника после удара и записать в графу 5 протокола испытания.

Если образец не сломался, что может быть в случае недостаточного запаса энергии копра или в случае очень вязкого материала (рис. 6), то в протоколе испытания отмечается «не сломался». Для излома другого образца увеличивается запас энергии маятника поднятием его на большую высоту.

9. Найти работу A_n , затраченную на разрушение образца. Чтобы не вычислять величину A_n по формуле, пользуются спе

циальной табл. 2, в которой для каждого угла α начального подъема маятника и угла взлета маятника указана величина работы A_n .

10. Записать величину работы A_n в графу 6 протокола испытания.

11. Определить ударную вязкость образца по формуле

$$a_n = A_n / S$$

где A_n — работа удара, затраченная на излом образца, в кГм ;
 S — площадь поперечного сечения образца в месте надреза в см^2 .

12. Записать величину a_n в графу 7 протокола испытания.

13. Характеристику излома (хрупкий, вязкий) записать в графу 8 протокола испытания.

Протокол испытания на ударную вязкость надрезанных образцов, произведенных на копре мощностью

№ по пор.	Размеры поперечного сечения образца	Площадь поперечного сечения в мм ²	Угол начального подъема маятника в градусах	Угол взлета маятника после удара в градусах	Работа излома образца A_n в кГм/см^2	Ударная вязкость a_n в кГм/см^2	Характеристика излома
1	2	3	4	5	6	7	8

**Зависимость величины работы удара от угла начального
подъема и угла взлета маятника**

Угол β взлета маятника в градусах	Угол α начального подъема маятника в градусах				Угол β взлета маятника в градусах	Угол α начального подъема маятника в градусах			
	69	90	107	130		69	90	107	130
	Работа удара в $кГм$					Работа удара в $кГм$			
1	1,97	3,07	3,97	5,04	66	0,15	1,25	2,15	3,22
2	1,97	3,07	3,97	5,04	67	0,10	1,20	2,10	3,17
3	1,97	3,07	3,96	5,04	68	0,05	1,15	2,05	3,12
4	1,96	3,06	3,96	5,04	69	0,00	1,10	2,07	3,07
5	1,96	3,06	3,96	5,03	70		1,05	1,95	3,02
6	1,95	3,05	3,95	5,03					
7	1,95	3,05	3,94	5,02	71		1,00	1,90	2,97
8	1,94	3,04	3,94	5,01	72		0,95	1,75	2,92
9	1,93	3,03	3,93	5,01	73		0,90	1,70	2,87
10	1,92	3,02	3,92	5,00	74		0,86	1,79	2,82
					75		0,79	1,74	2,77
11	1,91	3,01	3,91	4,99	76		0,74	1,69	2,72
12	1,90	3,00	3,90	4,98	77		0,69	1,59	2,6
13	1,89	2,99	3,89	4,96	78		0,64	1,54	2,61
14	1,88	2,98	3,88	4,95	79		0,59	1,48	2,56
15	1,87	2,96	3,86	4,94	80		0,53	1,43	2,51
16	1,85	2,95	3,85	4,92					
17	1,84	2,94	3,83	4,91	81		0,48	1,38	2,45
18	1,82	2,92	3,82	4,89	82		0,43	1,32	2,40

19	1,80	2,90	3,80	4,88	83		0,37	1,27	2,35
20	1,77	2,87	3,77	4,85	84		0,32	1,22	2,29
					85		0,27	1,16	2,24
21	1,76	2,87	3,76	4,84	86		0,21	1,11	2,19
22	1,75	2,85	3,74	4,82	87		0,16	1,06	2,13
23	1,73	2,83	3,72	4,80	88		0,11	1,00	2,08
24	1,70	2,80	3,70	4,78	89		0,05	0,95	2,03
25	1,68	2,78	3,68	4,76	90		0,00	0,90	1,97
26	1,66	2,76	3,66	4,73					
27	1,64	2,74	3,63	4,71	91			0,84	1,92
28	1,61	2,71	3,61	4,68	92			0,79	1,87
29	1,58	2,69	3,58	4,66	93			0,74	1,81
30	1,56	2,66	3,56	4,63	94			0,68	1,76
					95			0,63	1,71
31	1,53	2,63	3,53	4,60	96			0,58	1,65
32	1,50	2,60	3,50	4,58	97			0,52	1,60
33	1,47	2,57	3,47	4,55	98			0,47	1,55
34	1,44	2,55	3,44	4,52	99			0,42	1,49
35	1,41	2,51	3,41	4,49	100			0,36	1,44
36	1,38	2,48	3,38	4,48					
37	1,35	2,45	3,35	4,42	101			0,31	1,39
38	1,32	2,42	3,32	4,39	102			0,26	1,34
39	1,29	2,39	3,28	4,36	103			0,21	1,23
40	1,25	2,35	3,25	4,33	104			0,15	1,23
					105			0,10	1,18
41	1,22	2,32	3,21	4,29	106			0,05	1,13
42	1,18	2,28	3,18	4,25	107			0,00	1,08
43	1,15	2,25	3,14	4,22	108				1,05

44	1,11	2,21	3,11	4,18	109				0,97
45	1,07	2,17	3,07	4,15	110				0,92
46	1,03	2,13	3,03	4,11					
47	0,99	2,09	2,99	4,07	111				0,87
48	0,95	2,05	2,95	4,03	112				0,82
49	0,91	2,01	2,91	3,99	113				0,77
50	0,87	1,97	2,87	3,95	114				0,72
					115				0,68
51	0,83	1,93	2,83	3,91	116				0,63
52	0,79	1,89	2,79	3,86	117				0,58
53	0,75	1,85	2,75	3,82	118				0,53
54	0,70	1,80	2,70	3,78	119				0,8
55	0,66	1,76	2,66	3,73	120				0,44
56	0,52	1,72	2,61	3,69					
57	0,57	1,67	2,57	3,64	121				0,40
58	0,53	1,63	2,52	3,60	122				0,35
59	0,48	1,58	2,48	3,55	123				0,30
60	0,43	1,54	2,43	3,51	124				0,26
					125				0,21
61	0,29	1,49	2,39	3,46	126				0,17
62	0,24	1,44	2,34	3,41	127				0,13
63	0,29	1,39	2,29	3,37	128				0,08
64	0,24	1,35	2,24	3,32	129				0,04
65	0,20	1,30	2,20	3,27	130				0,00

Отчет по лабораторной работе
Определение ударной вязкости стали

Цель

работы: _____

Определение ударной вязкости и вывод формулы для ее определения

**Принцип определения ударной
вязкости** _____

Устройство

прибора _____

**Порядок проведения
испытания** _____

Лабораторная работа №5

Испытание стали на растяжение.

Опишите методику измерения механических свойств металла -упругости, текучести, пластичности и прочности. Запишите определения свойствам. Зарисуйте диаграмму растяжения. Выполните расчеты показателей упругости, текучести, прочности, пластичности. Запишите определения.

Данные к задаче 1 по вариантам:

Вариант 1

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
11	7	52	62	12000	28000	35000

Вариант 2

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
12	9	62	72	12500	28500	35500

Вариант 3

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
13	10	64	74	13000	29000	36000

Вариант 4

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
14	11	66	76	14000	30000	37000

Вариант 5

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
15	13	68	78	15000	30500	36500

Вариант 6

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
11	6	50	60	11000	27000	34000

Вариант 7

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
12	7	58	68	15000	29500	37500

Вариант 8

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y, H	P_T, H	$P_{B(max)}, H$
10	6	50	60	11000	26500	34000

Вариант 9

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y, H	P_T, H	$P_{B(max)}, H$
14	10	59	69	14000	30000	36000

Вариант 10

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y, H	P_T, H	$P_{B(max)}, H$
11	7	48	58	11500	24000	34500

Вариант 11

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y, H	P_T, H	$P_{B(max)}, H$
11	7	52	62	12000	28000	35000

Вариант 12

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y, H	P_T, H	$P_{B(max)}, H$
12	9	62	72	12500	28500	35500

Вариант 13

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y, H	P_T, H	$P_{B(max)}, H$
13	10	64	74	13000	29000	36000

Вариант 14

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y, H	P_T, H	$P_{B(max)}, H$
14	11	66	76	14000	30000	37000

Вариант 15

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y, H	P_T, H	$P_{B(max)}, H$
15	13	68	78	15000	30500	36500

Вариант 16

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y, H	P_T, H	$P_{B(max)}, H$
------------	------------	------------	------------	----------	----------	-----------------

11	6	50	60	11000	27000	34000
----	---	----	----	-------	-------	-------

Вариант 17

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
12	7	58	68	15000	29500	37500

Вариант 18

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
10	6	50	60	11000	26500	34000

Вариант 19

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
14	10	59	69	14000	30000	36000

Вариант 20

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
11	7	48	58	11500	24000	34500

Вариант 21

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
11	7	52	62	12000	28000	35000

Вариант 22

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
12	9	62	72	12500	28500	35500

Вариант 23

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
13	10	64	74	13000	29000	36000

Вариант 24

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
14	11	66	76	14000	30000	37000

Вариант 25

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
15	13	68	78	15000	30500	36500

Вариант 26

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
11	6	50	60	11000	27000	34000

Вариант 27

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
12	7	58	68	15000	29500	37500

Вариант 28

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
10	6	50	60	11000	26500	34000

Вариант 29

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
14	10	59	69	14000	30000	36000

Вариант 30

d_o , мм	d_p , мм	l_o , мм	l_p , мм	P_y , Н	P_T , Н	$P_{B(max)}$, Н
11	7	48	58	11500	24000	34500

Предел прочности (σ_B), предел текучести (σ_T), относительное удлинение (δ) и относительное сужение (ψ) определяют при испытании на растяжение. Испытания проводят на разрывных машинах с использованием стандартных образцов с площадью поперечного сечения F_0 и рабочей (расчетной) длиной l_0 .

Чтобы определить прочность металла, работающего на растяжение, изготавливают образец и устанавливают его в зажимы (или захваты) разрывной машины. Для этих целей чаще всего используют машины с гидравлической системой передачи усилия или с винтовой системой.

Растягивающая сила F создает напряжение в испытываемом образце и вызывает его удлинение. Когда напряжение превысит прочность образца, он разорвется. В результате

проведения испытаний получают диаграмму растяжения (рис. 1). На оси абсцисс указывается значение деформации, на оси ординат — значение нагрузки, которая прилагается к образцу.

Предел прочности (σ_B) — это максимальная нагрузка, которую выдерживает материал без разрушения, отнесенная к начальной площади поперечного сечения образца ($P_{\max}/F_0$)

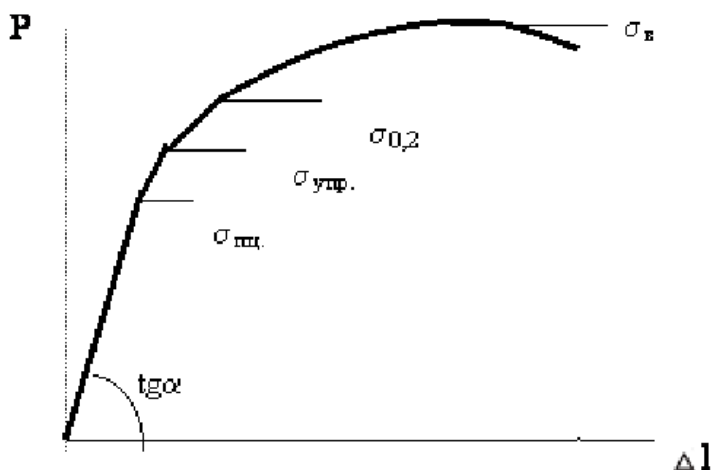


Рисунок 1. Диаграмма растяжения

При растяжении образец удлиняется, а его поперечное сечение непрерывно уменьшается. Истинное напряжение определяется делением действующей в определенный момент нагрузки на площадь, которую образец имеет в этот момент.

Истинные напряжения в повседневной практике не определяют, а пользуются условными напряжениями, считая, что поперечное сечение F_0 образца остается неизменным.

Предел текучести (σ_T) — это нагрузка, при которой происходит пластическая деформация, отнесенная к начальной площади поперечного сечения образца (P_T/F_0). Однако при испытаниях на растяжение у большинства сплавов площадки текучести на диаграммах нет.

Поэтому определяется условный предел текучести ($\sigma_{0.2}$) — напряжение, которому соответствует пластическая деформация 0.2%. Выбранное значение 0.2% достаточно точно характеризует переход от упругих деформаций к пластическим.

К характеристикам материала относят также предел упругости (упр), под которым подразумевают напряжение, при котором пластическая деформация достигает заданного

значения. Обычно используют значения остаточной деформации 0,005;0,02;0,05% . Таким образом,

$$\sigma_{0,05} = P_{\text{пр}} / F_0 \quad (P_{\text{пр}} \text{ — нагрузка, при которой остаточное удлинение составляет } 0,05\%).$$

Пластичность характеризуется относительным удлинением (δ) и относительным сужением (ψ):

$$\delta = [(l_k - l_0)/l_0] \cdot 100\%$$

$$\psi = [(F_0 - F_k)/F_0] \cdot 100\%,$$

где l_k — конечная длина образца; l_0 и F_0 — начальные длина и площадь поперечного сечения образца; F_k — площадь поперечного сечения в месте разрыва.

Для малопластичных материалов испытания на растяжение вызывают затруднения, поскольку незначительные перекосы при установке образца вносят существенную погрешность в определение разрушающей нагрузки. Такие материалы, как правило, подвергают испытанию на изгиб.

Определим механические свойства материала:

Предел прочности на растяжение:

$$\sigma_B = \frac{P_{\text{max}}}{F_0}$$

P_{max} — максимальная нагрузка, выдерживаемая образцом; F_0 — площадь поперечного сечения образца.

$$F_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

Предел текучести

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$$

P_T — это нагрузка, при которой происходит пластическая деформация.

Предел упругости:

$$\sigma_y = \frac{P_y}{F_0}$$

P_y — нагрузка, при которой остаточное удлинение составляет 0,05%.

Определим показатели пластичности: относительное удлинение:

$$\delta = [(l_p - l_0)/l_0] \cdot 100\%$$

где l_p — конечная длина образца, l_0 — начальная длина образца

-относительное сужение

$$\psi = [(F_0 - F_p)/F_0] \cdot 100\%,$$

F_p — площадь поперечного сечения в месте разрыва, F_0 — начальная площадь поперечного сечения образца

$$F_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}$$

Лабораторная работа №6

Термическая обработка углеродистой стали.

Цель работы: изучить влияние видов и режимов термической обработки на механические свойства стали.

Оборудование и раздаточный материал: муфельные печи, пирометры, образцы стали, емкость с водой, емкость с маслом, шипцы, твердомер ТК-2.

Под термической обработкой металлов понимают процесс нагрева, выдержки и охлаждения сплавов с целью изменения структуры и получения заданных свойств. Термической обработке подвергают заготовки (прокат, литые, кованные и штампованные детали) для того, чтобы понизить твердость и улучшить обрабатываемость, а обработанные детали - для того, чтобы повысить прочность, упругость, износостойкость и усталостную прочность. Значительное улучшение механических свойств в результате термической обработки деталей позволяет увеличить допускаемые напряжения, уменьшить массу деталей, повысить надежность и срок службы машин. Правильно проведенная термическая обработка существенно повышает долговечность и надежность технических средств.

На структуру и свойства стали большое влияние оказывает температура нагрева. Перлитно-аустенитное превращение сопровождается значительным измельчением зерна. Если мелкозернистый аустенит охладить, то получится мелкозернистая структура стали. Нагрев стали значительно выше A_{c3} приводит к росту зерна аустенита.

Для получения необходимой структуры, кроме нагрева, не меньшее значение имеет и режим охлаждения. Если главной целью нагрева стали является получение аустенитной структуры, то основной целью ее охлаждения - получение структур, образующихся в результате превращения аустенита. При быстром охлаждении аустенит переохлаждается, т.е. сохраняется некоторое время и при температуре ниже A_{f1} .

Превращения аустенита могут быть диффузионными, приводящими к его распаду по схеме $Fe_\gamma(C) \rightarrow Fe_\alpha(C) + Fe_3C$ с образованием смеси феррита и цементита разной дисперсности, или бездиффузионными, когда превращения происходят по схеме

$Fe_\gamma(C) \rightarrow Fe_\alpha(C)$ с образованием пересыщенного раствора углерода в α -железе. В этих формулах $Fe_\gamma(C)$ обозначает твердый раствор углерода в γ -железе, а $Fe_\alpha(C)$ - твердый раствор углерода в α -железе.

При значительном переохлаждении аустенита диффузионные процессы полностью подавляются, происходит бездиффузионное $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение, т.е. перегруппировка атомов из гранцентрированной решетки в объемно-центрированную. В результате этого превращения образуется пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе, структура которого называется мартенситом М (по имени немецкого ученого Мартенса).

При комнатной температуре α -железо в условиях равновесия способно растворить лишь 0,006 % углерода. В случае же образования мартенсита в стали, содержащей, например, 0,6 % С, решетка α -железа как бы «насильственно» растворяет все 0,6 % углерода, т.е. в 100 раз больше. Это приводит к искажению кристаллической решетки мартенсита, у которой один период (параметр) становится больше двух других.

Под микроскопом мартенсит наблюдается в виде игл различных размеров. Из-за того, что в мартенсите атомы углерода как бы заклинены между атомами железа, они вызывают большие внутренние напряжения. Твердость мартенсита, например эвтектоидной стали, достигает 6500 МПа или 63 HRC. Мартенсит является хрупкой структурой. В доэвтектоидных сталях твердость мартенсита непрерывно возрастает с повышением содержания углерода.

Температуры, при которых начинается и заканчивается $A \rightarrow M$ превращение, обозначают соответственно M_n и M_k . Их положение зависит от содержания углерода: с увеличением содержания углерода они заметно понижаются (рис.5). При $A \rightarrow M$ превращении не весь аустенит переходит в мартенсит. Непревращенный аустенит называют остаточным.

В технологических процессах термической обработки распад аустенита происходит либо в условиях непрерывного охлаждения, либо изотермически (при постоянной температуре). Образование неравновесных структур - сорбита, троостита и бейнита - более удобно рассматривать при изотермическом распаде аустенита.

Изотермический распад аустенита.

В практических условиях получают неравновесные структуры, образовавшиеся при изотермическом распаде аустенита следующим образом. Образцы исследуемой, например эвтектоидной, стали нагревают на 30-50° С выше A_{c1} и после выдержки, необходимой для выравнивания температуры по сечению образцов, быстро переносят в ванну с расплавом солей, температура которого ниже точки A_{r1} , автоматически поддерживается постоянной. Образец стали быстро охлаждается до температуры расплава, и переохлаждённый аустенит распадается не в процессе охлаждения, а при постоянной температуре.

Диаграмма изотермического распада аустенита строится на основе наблюдений за превращениями при постоянных температурах, например через каждые 50° С, т.е. при 700, 650, 600, 550, 500, 450° С и т.д. При оси ординат откладывают температуру, а при оси абсцисс - время в секундах с применением логарифмической шкалы (рис.6).

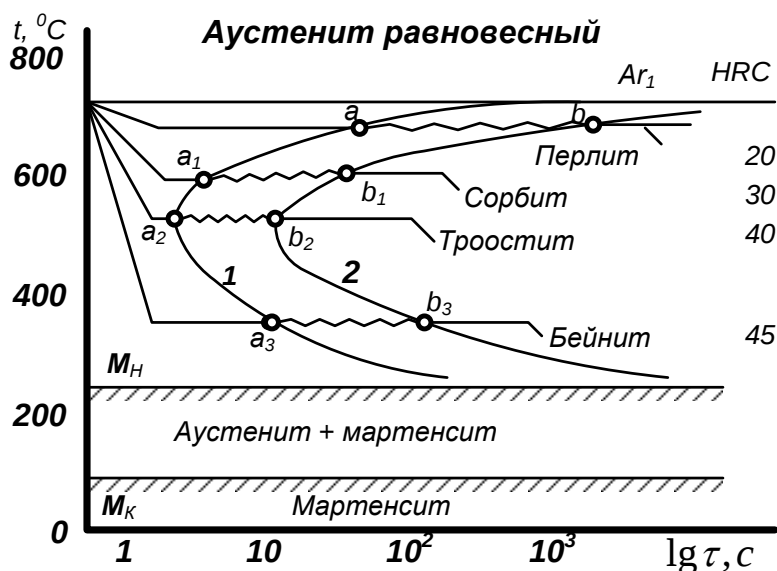


Рис 6. Диаграмма изотермического распада аустенита эвтектоидной стали.

В результате распада аустенита эвтектоидной стали между точками a и b (температура 700° С) образуется перлит. Перлит - равновесная структура. Его образование требует незначительного переохлаждения аустенита. Перед распадом углерод диффундирует внутри аустенита и скапливается в определённых местах. Затем в месте скопления углерода выделяется пластинка цементитной фазы, которая начинает расти и утолщаться. Её образование приводит к уменьшению содержания углерода рядом с пластинкой, что способствует в этом месте у a превращению и образованию пластинки феррита. Затем начинает расти следующая пластинка цементита, вновь образуется феррит и, таким образом, постепенно возникает участок перлита, в котором пластинки цементита и феррита чередуются. Твёрдость перлита 1800 - 2000 МПа. При переохлаждении до температуры 650° С распад аустенита произойдёт между точками при менее благоприятных условиях для диффузионных процессов, чем при образовании перлита. В результате образуется более мелкая, чем перлит, смесь феррита с цементитом, которую называют сорбитом С (по имени английского учёного Сорби). От перлита сорбит отличается повышенной твёрдостью (2500-3000 МПа) и более высокими прочностью и упругостью при достаточной вязкости.

Распад аустенита между точками a_2 и b_2 (температура 550° С) приводит к образованию более мелкой, чем сорбит, смеси феррита с цементитом. Это высокодисперсную смесь называют трооститом Т (по имени французского учёного Трооста). От сорбита троостит отличается более высокой твёрдостью (3500-4000 МПа), более высокими упругими свойствами и меньшей вязкостью.

Перлит, сорбит и троостит - это смеси феррита и цементита, отличающиеся лишь размерами

пластин цементитной фазы и расстояниями

ЗАКАЛКА СТАЛИ

Цель заковки — получение неравновесных структур и более высоких механических свойств — твердости, прочности, упругости, износостойкости. Закалку осуществляют нагревом стальных деталей до температур выше критических, выдерживанием при этих температурах и последующим быстрым охлаждением в воде, минеральном масле и других резких охлаждающих средах.

Температура и скорость нагрева. Температура нагрева стали при закалке определяется главным образом содержанием в ней углерода.

Дозвлектоидные стали нагревают на 30—50° С выше A_{c3} . При таком нагреве получается аустенитная структура, которая при последующем быстром охлаждении превращается в мартенсит. Такую закалку называют полной. При неполной закалке с нагревом стали до температур выше A_{c1} , но ниже A_{c2} конечная структура будет состоять из мартенсита и феррита. Последний снижает твердость закаленной стали, поэтому является нежелательным. Для заковки заэвтектоидных сталей их нагревают на 29—30° С выше A_{c1} ; при такой температуре сталь имеет структуру, состоящую из аустенита и нерастворившихся полностью зерен цементита. При быстром охлаждении происходит $A \rightarrow M$ превращение, а цементит в структуре сохраняется. Следовательно, после заковки заэвтектоидные стали имеют структуру мартенсита с включением зерен цементитной фазы. Такую закалку называют *неполной*. Цементит тверже мартенсита, поэтому неполная закалка заэвтектоидных сталей обеспечивает максимальную твердость. При *полной* закалке заэвтектоидных сталей с нагревом выше A_{cm} в их структуре наряду с мартенситом будет остаточный аустенит, имеющий твердость значительно ниже твердости мартенсита.

Перегрев стали при закалке приводит к получению крупнонольчатого мартенсита пониженной твердости, к короблению деталей, образованию закалочных трещин и обезуглероживанию, т. е. к выгоранию углерода в поверхностных слоях деталей.

Нагрев необходимо вести с возможно большими скоростями и минимальной выдержкой при заданной температуре, обеспечивающей, однако, выравнивание температуры по всему сечению закаливаемых изделий и завершение фазовых превращений. Чем меньше металл испытывает высокие температуры в процессе заковки, тем меньше поверхностное окисление, обезуглероживание и тем мельче структура мартенсита и выше свойства стали.

Скорость охлаждения и закалочные среды. Для получения мартенситной структуры необходимо аустенит переохладить до температур ниже температуры его наименьшей устойчивости, т. е. ниже 650 — 550° С (см. рис. 46), путем быстрого охлаждения со скоростью не менее критической скорости заковки. В интервале температур аустенитномартенситного превращения, т. е. между M_n и M_k охлаждение должно быть более медленным, чтобы напряжения, вызываемые структурными превращениями, выровнились и частично рассеялись. При этом уменьшаются и термические напряжения, возникающие из-за неодновременного охлаждения по сечению.

Различная скорость охлаждения достигается применением той или иной охлаждающей среды — воды, водяных растворов солей, минеральных масел и др., так как они резко отличаются охлаждающей способностью (табл. 5).

Таблица 5 Скорость охлаждения стали в различных охладителях

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения, °С/с, в интервале температур	
	650—550° С	300—200° С
Вода при 18° С	600	270
Раствор 10%-ного NaCl в воде при 18° С	1100	300
Машинное масло	150	30

Из табл. 5 видно, что в 10%-ном водянном растворе поваренной соли скорость охлаждения стали в интервале температур аустенитно-трооститных превращений (650—550° С) в 2 раза больше скорости охлаждения в пресной воде, а в масле в 4 раза меньше, чем в пресной воде. В интервале температур M_n — M_k (300—200° С) охлаждающая способность масла в 9—10 раз меньше, чем воды и 10%-ного раствора NaCl в воде.

Углеродистые стали отличаются незначительной устойчивостью аустенита при температуре 650—550° С, поэтому их целесообразно охлаждать в воде, а легированные стали, у которых устойчивость аустенита значительная, — в масле и в отдельных случаях даже на воздухе. Прокаливаемость и закаливаемость. В зависимости от химического состава резко меняется прокаливаемость и закаливаемость стали. Под прокаливаемостью понимают способность стали воспринимать закалку на большую или меньшую глубину. За глубину прокаливаемости принимают расстояние от поверхности с мартенситной структурой до полумартенситной зоны, структура которой состоит из 50% мартенсита и 50% троостита. Полумартенситная зона определяется по структуре или твердости. Часто прокаливаемость определяют по глубине закаленного слоя, в котором имеется 95% мартенсита и 5% троостита. *Закаливаемость* — способность стали к повышению твердости в результате закалки. Как изменяются механические свойства стали в результате закалки, видно из табл. 6. Характерными свойствами стали с мартенситной структурой, как показывает табл. 6, является высокая твердость и малая пластичность. С увеличением содержания углерода и ростом размера мартенситных игл вязкость стали с мартенситной структурой заметно

Механические свойства стали 40 (0,4% С) после отжига (в равновесном состоянии) и после закалки

Вид термообработки	$\sigma_{\text{в}}$ МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	НВ, МПа	σ , %	φ , %
Отжиг, $\Phi + П$	600	250	1400	33	50
Закалка, M	1400	1100	5700	2	3

снижается. Высокая твердость мартенсита, по мнению советского ученого Г. В. Курдюмова, объясняется главным образом мелкоблочным строением мартенситных кристаллов, границы которых сильно затрудняют перемещение дислокаций.

Способы закалки. В зависимости от условий охлаждения существует несколько способов закалки. Наиболее распространена закалка в одном охладителе. Однако в этом случае появляются значительные термические и структурные напряжения из-за быстрого охлаждения деталей в большом интервале температур. Напряжения могут вызвать коробление деталей, а если они превысят предел прочности, то и появление трещин.

Иногда при термообработке инструмента для уменьшения структурных напряжений применяют закалку в двух средах, т. е. охлаждают изделия до температуры несколько выше M_n быстро в воде, а затем более медленно в масле.

Еще больший эффект дает ступенчатая закалка, при которой нагретая до состояния аустенита сталь охлаждается в расплаве солей до температуры несколько выше M_n . При этой температуре делается короткая выдержка для выравнивания температуры по сечению детали, а затем она охлаждается более медленно. В результате получается мартенситная структура, свободная от значительных структурных и термических напряжений. Также и в ваннах при температуре несколько выше M_n проводят изотермическую закалку, только выдержку при постоянной температуре делают до полного окончания распада аустенита. В этом случае получается структура бейнита (иглочатого троостита) с твердостью 45—55 HRC и достаточной вязкостью. Ступенчатой и изотермической закалке подвергают стали, имеющие достаточно большой инкубационный период К мало и среднеуглеродистым сталям такой способ закалки применять нельзя.

Процесс термообработки, заключающийся в нагреве стали до закалочных температур, охлаждении и выдержке в расплаве свинца при 600—500° С и последующей обработке давлением, называется патентированием. В результате патентирования сталь приобретает структуру наклепанного дисперсного сорбита и отчасти троостита и высокую прочность. Проволока из стали, содержащей 0,65% С и 1 % Мп, после указанной термической обработки и протягивания через очковый инструмент — фильеру (калибровка) достигает предела прочности 3000 МПа при достаточной вязкости.

Нормализация стали.

При нормализации сталь нагревают до температуры A_{c3} плюс 30-50° С или A_{cm} плюс 30-50° С, выдерживают и затем охлаждают на спокойном воздухе. При нормализации из-за более

быстрого охлаждения, чем при отжиге, происходит некоторое переохлаждение аустенита, в результате распада которого получается перлит тонкого строения, механические свойства, особенно ударная вязкость, повышаются. Для многих изделий из малоуглеродистых сталей нормализация является не предварительной, а окончательной операцией термической обработки. Интервалы рекомендуемых температур нагрева при различных видах отжига и нормализации приведены на рис.11.

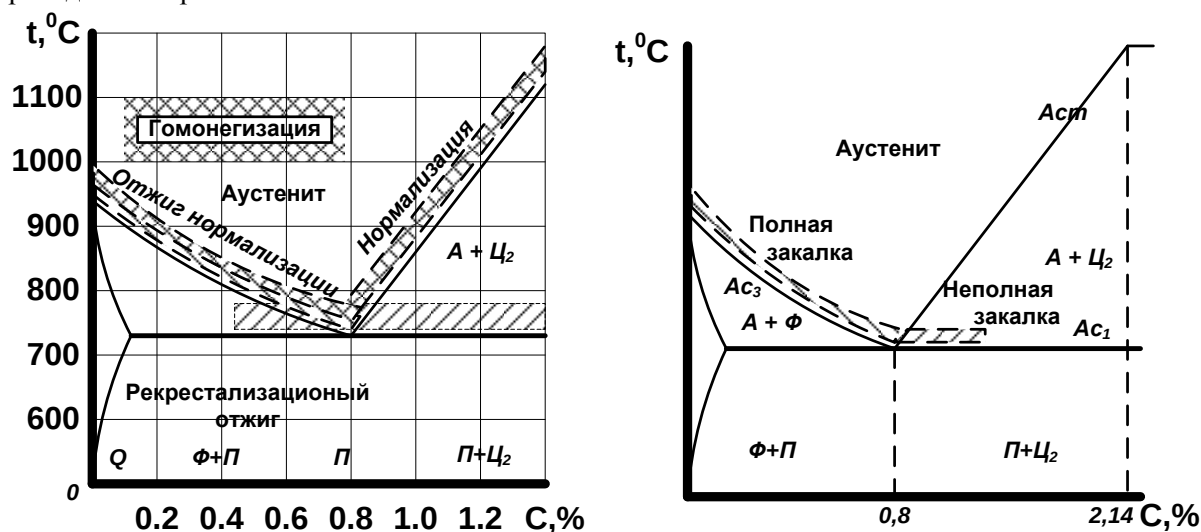


Рис 11. Интервалы рекомендуемых температур нагрева при различных видах отжига, заковки и нормализации.

ОТПУСК ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ

ОТПУСК — операция термической обработки, при которой закаленные стальные детали нагревают до температуры ниже критической A_{c1} , выдерживают при этой температуре и затем охлаждают. Целью отпуска является снятие внутренних напряжений и повышение вязкости стали, так как закаленная на мартенсит сталь, имея большие внутренние остаточные напряжения, хрупка и легко разрушается от ударных и изгибающихся нагрузок. При повышении температуры отпуска уменьшается степень тетрагональности мартенсита, и он постепенно распадается на феррито-цементитную смесь. Неравновесная структура мартенсита переходит в более равновесное состояние. Эти превращения сопровождаются понижением твердости и повышением вязкости. В зависимости от требуемых свойств различают три вида отпуска низкий, средний и высокий. Низкий отпуск производят при температуре 150—200 °С. Мартенсит при этом сохраняется, но уменьшаются искажения его кристаллической решетки (снижается степень тетрагональности c/a) и структура отпущенной стали становится менее напряженной. Одновременно в кристаллах мартенсита образуются мельчайшие частицы карбидов, состав и решетка которых отличны от цементита (Fe_3C). Образовавшиеся чрезвычайно тонкий, в несколько атомных рядов пластинки этого так называемого ϵ -карбида когерентно связаны с решеткой пересыщенного α -твердого раствора, т. е. их решетки не имеют границ раздела.

Полученную структуру называют мартенситом отпуска. Он хорошо протравливается при изготовлении микрошлифов, поэтому мартенсит отпуска отличается от мартенсита заковки более темными иглами. Низкий отпуск практически сохраняет полученную заковкой высокую твердость, которая, например, для эвтектоидной стали составляет 60—65 HRC. Низкому отпуску подвергают режущий инструмент и другие детали, металл которые должны обладать высокой твердостью и износостойкостью.

Средний отпуск проводят при температурах 330—500 °С. При этих температурах завершается процесс выделения углерода из α -раствора и образования карбидов. Степень тетрагональности твердого раствора при этом приближается к единице, как в кубической решетке, и твердый раствор становится ферритом. Частицы карбидной фазы начинают округляться и становятся карбидом цементитного типа. Так образуется высокодисперсная смесь феррита и цементита — троостит отпуска. Если структура стали включает троостит и зерна другой составляющей, то троостит выделяется более темной окраской. Превращение мартенсита в троостит сопровождается снижением твердости, повышением пластичности и вязкости. Твердость троостита эвтектоидной стали около 40 HRC. Так как сталь с трооститной структурой обладает отличными упругими свойствами, то, например, все пружины, в том числе для локомотивов, вагонов и автомобилей,

после закалки отпускают на получение троостита отпуска. Отпуск при температуре 250—350°С приводит к получению троосто-мартенситной структуры.

Высокий отпуск производится при температурах 500—650° С. При этом происходит дальнейшая сфероидизация и укрупнение частиц цементитной фазы. В результате образуется более грубая, чем троостит, феррито-цементитная смесь — сорбит отпуска.

По сравнению с трооститом сорбит отпуска обладает меньшей твердостью, прочностью и упругостью, но более высокими показателями пластичности и вязкости. Твердость сорбита эвтектоидной стали около 30 HRC. В сорбите отпуска цементная фаза имеет зернистое строение, поэтому сорбит отпуска отличается более высокими показателями вязкости и пластичности, чем сорбит закалки, имеющий пластинчатые формы цементита. Следует особо подчеркнуть, что одноименные структуры закалки и отпуска (троостит, сорбит) при одинаковой твердости имеют практически одинаковый предел прочности, но существенно отличаются пределом текучести и вязкостью.

Процесс закалки на мартенсит и отпуск на сорбит называют улучшением стали, так как в результате этих операций весь комплекс механических свойств стали повышается по сравнению с отожженным и нормализованным состоянием. Улучшению подвергают металл многих нагружаемых деталей машин и подвижного состава – осей, валов, шестерен. Отпуск при температуре, близкой к A_{c1} , приводит к получению зернистого перлита.

Следует особо подчеркнуть, что одноименные структуры закалки и отпуска (троостит, сорбит) при одинаковой твердости имеют практически одинаковый предел прочности, но существенно отличаются пределом текучести и вязкостью.

Процесс закалки на мартенсит и отпуск на сорбит называют улучшением стали, так как в результате этих операций весь комплекс механических свойств стали повышается по сравнению с отожженным и нормализованным состоянием. Улучшению подвергают металл многих нагружаемых деталей машин и подвижного состава – осей, валов, шестерен. Отпуск при температуре, близкой к A_{c1} , приводит к получению зернистого перлита.

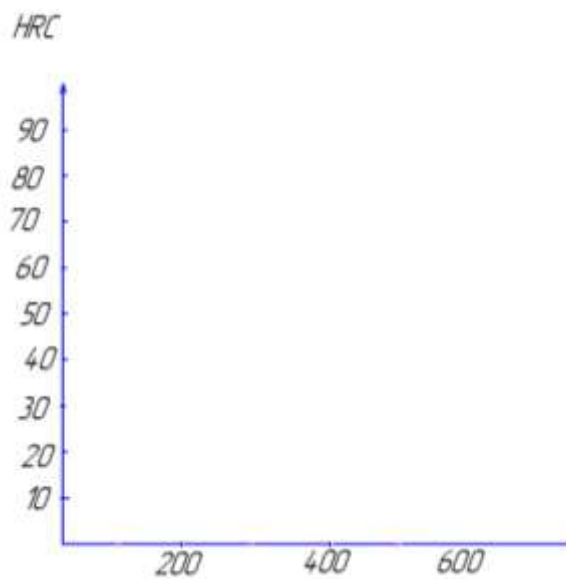
Порядок выполнения

1. Назначить в соответствии с диаграммой железо-углерод температуру нагрева под закалку стали марки Сталь 45, Сталь 80 и У12.

2. Заполнить таблицу

Марка стали	Температура нагрева под закалку	Вид отпуска и температура нагрева	Микроструктура стали после термической обработки	Твердость после термической обработки
Сталь 45				
Сталь 80				
У12				

3. Построить график зависимости твердости стали от температуры отпуска.



4. Нарисовать график нормализации для стали 85.

Контрольные вопросы:

1. Каковы цель и назначение закалки?
2. Каковы цель и назначение нормализации?
3. Каковы цель и назначение отпуска?
4. Перечислите виды отпуска.

Лабораторная работа №7

Определение вязкости, температуры вспышки масел

Сущность метода заключается в измерении времени истечения определенного объема испытуемой жидкости под влиянием силы, тяжести. Испытание проводят в капиллярных стеклянных вискозиметрах. Для проведения анализа подбирают вискозиметр с таким диаметром капилляра, чтобы время истечения жидкости составляло не менее 200 с (рис. 5).

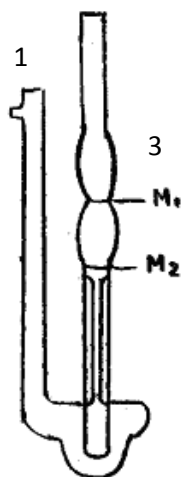


Рис. 5. Вискозиметр Оствальда

1- первое колено,

2- второе колено,

3- расширение.

Чистый сухой вискозиметр заполняют минеральным маслом. Для этого в вискозиметр через воронку заливают точное количество нефтепродукта (отмеченное на вискозиметре). Снимают с внешней стороны конца колена 1 избыток минерального масла и надевают на конец колена 2 резиновую трубку. Вискозиметр устанавливают в термостат (баню) так, чтобы расширение 3 было ниже уровня минерального масла. После выдержки в термостате не менее 15 мин засасывают минеральное масло в колено 2, примерно до 1/3 высоты расширения 3. Соединяют колено 2 с атмосферой и определяют время перемещения мениска нефти - (нефтепродукта) от метки M_1 до M_2 (с погрешностью не более 0.2 с).

Если результаты трех последовательных измерений не отличаются более чем на 0.2 %, кинематическую вязкость ν , $\text{мм}^2/\text{с}$, вычисляют как среднее арифметическое по формуле:

$$\nu = C \cdot \tau,$$

где C — постоянная вискозиметра, $\text{мм}^2/\text{с}^2$; τ — среднее время истечения нефти (нефтепродукта) в вискозиметре, с.

Динамическую вязкость η , мПа·с, исследуемой нефти (нефтепродукта) вычисляют по формуле:

$$\eta = \nu \cdot \rho$$

где ν — кинематическая вязкость, мм²/с; ρ — плотность при той же температуре, при которой определялась вязкость, г/см³.

2. Определение температур вспышки и воспламенения в открытом тигле по методу Бренкена

Приборы, реактивы, материалы

Нефтепродукт, железный тигель, песчаная баня, электронагревательный прибор, термометр до 360 °С, лучины, защитная маска.

Подготовка к анализу. Для определения температур вспышки и воспламенения берут обезвоженный нефтепродукт. Тигель промывают бензином, затем при наличии углеродистых отложений очищают металлической щеткой, промывают дистиллированной водой и высушивают.

Прибор для определения температуры вспышки и воспламенения устанавливают в таком месте, где **нет заметного движения воздуха** и попадания дневного света на поверхность тигля, и защищают от движения воздуха щитом или экраном.

Для проведения анализа тигель охлаждают до 15—25 °С и ставят в наружный тигель аппарата с прокаленным песком. При этом песок должен быть на высоте около 12 мм от верхнего края внутреннего тигля, а между дном этого тигля и наружным тиглем толщина песка должна быть 5—8 мм.

Анализируемый нефтепродукт наливают во внутренний тигель так, чтобы его уровень был ниже края тигля на 12 мм для нефтепродуктов со вспышкой до 210 °С включительно и на 18 мм для нефтепродуктов со вспышкой выше 210 °С.

Термометр устанавливают во внутренний тигель с нефтепродуктом в строго вертикальном положении, так чтобы ртутный шарик находился в центре тигля приблизительно на одинаковом расстоянии от дна тигля и уровня нефтепродукта.

Проведение анализа. При анализе наружный тигель аппарата нагревают на электроплитке. За 40 °С до ожидаемой температуры вспышки скорость нагрева ограничивают до 4 °С/мин. За 10 °С до ожидаемой температуры вспышки проводят медленно по краю тигля на расстоянии 10—14 мм от поверхности анализируемого нефтепродукта и параллельно этой поверхности пламенем лучины. Длина пламени

должна быть 3—4 мм, время продвижения пламени от одной стороны тигля до другой 2—3 с. Определение повторяют через 2⁰С подъема температуры.

За температуру вспышки принимают температуру, которую показывает термометр при появлении первого синего пламени над частью или над всей поверхностью анализируемого нефтепродукта. При этом не следует смешивать истинную вспышку с отблеском от пламени лучины. В случае появления неясной вспышки она должна быть подтверждена последующей вспышкой через 2⁰С.

После установления температуры вспышки нефтепродукта, если требуется определить температуру его воспламенения, продолжают нагревание наружного тигля так, чтобы анализируемый нефтепродукт нагревался со скоростью 4⁰С/мин. Через каждые 2⁰С подъема температуры к нефтепродукту подносят пламя лучины. За температуру воспламенения принимают температуру, показываемую термометром в тот момент, в который анализируемый нефтепродукт при поднесении к нему пламени загорается и продолжает гореть не менее 5 с.

Расхождения между двумя последовательными определениями температуры вспышки не должны превышать при температуре вспышки до 150⁰С - 4⁰С, выше 150⁰С - 6⁰С. Расхождения между двумя последовательными определениями температуры воспламенения не должны превышать 6⁰С.

Данные записываются в таблицу 1.

Таблица 1.

Наименование минерального масла	Кинематическая вязкость	Динамическая вязкость	Температура вспышки масла

Контрольные вопросы

1. Дайте определение вязкости минерального масла.
4. Опишите способ определения вязкости минерального масла.
5. Как определяется температура вспышки минерального масла ?

Лабораторная работа №8

Определение температуры каплепадения пластичных смазок

Цель работы: экспериментально определить температуру каплепадения пластичной смазки.

Пластичные смазки (ПС) применяют в трущихся деталях механизмов, конструкционные особенности которых не позволяют надежно подавать и использовать жидкие смазочные материалы. ПС представляют собой жидкие масла, загущенные специальными веществами, придающими им коллоидную структуру, состоящую из дисперсной среды и дисперсной фазы. В качестве дисперсионной среды используют жидкие масла, обладающие хорошими антикоррозионными и смазочными свойствами, а дисперсионной фазы – вещества, обеспечивающие стабильность системы и ограничивающие подвижность дисперсионной среды, – загустители.

Структурный каркас ПС оказывает определяющее влияние на ее основные свойства, зависит от химической природы, геометрической формы частиц загустителя, которые обеспечивают большие поверхности его контакта и, как следствие этого, значительную величину адсорбционных сил, связывающих загуститель с маслом, – коллоидную стабильность. В зависимости от характера и прочности образуемого загустителем каркаса различают полужидкие, жидкие и консистентные ПС, которые имеют наибольшее распространение в автотранспорте.

В зависимости от вида загустителя ПС классифицируют на литиевые, натриевые, кальциевые, алюминиевые и другие, которые принято называть мыльными загустителями (мылами). В последнее время расширяется использование в качестве загустителей кристаллических полимеров, пигментов, технического углерода (сажа), силикагеля, бентонитовых глин и других порошкообразных материалов в сочетании с ПАВами.

С увеличением температуры ухудшаются механические свойства ПС, так как уменьшаются адгезионные силы, связывающие масло с загустителем, нарушается структура каркаса, что сопровождается разрушением коллоидной стабильности и выделением жидкой фазы – плавлением ПС. Способность ПС сохранять свои свойства при повышении температуры в узле трения определяется ее температурной стабильностью, которая характеризуется температурой начала плавления, определяемой по выделению первой капли жидкой смазки из нагреваемой в специальном приборе ПС – температуре каплепадения.

Температура каплепадения является условной характеристикой теплоустойчивости смазки.

Испытуемая смазка, помещаемая в капсюль специального прибора, нагревается с определенной скоростью и размягчается до такого состояния, при котором происходит образование и падение капли под действием тяжести.

Температура, при которой капля смазки, помещаемая в прибор, приобретает форму полушара, называется температурой каплеобразования. Температура, при которой происходит падение первой капли смазки из прибора, называется температурой каплепадения.

Универсальные пластичные смазки по температуре каплепадения делятся на три группы:

Смазка с температурой падения до 65°C – они маркируются буквами УН (универсальная низкоплавкая);

Смазка с температурой каплепадения 65°C - 100°C (универсальная среднеплавкая) – УС;

Смазка с температурой каплепадения выше 100°C (универсальная тугоплавкая) – УТ.

Смазки УН готовят на немыльных загустителях, смазки УС – на кальциевых мылах, а смазки УТ – на натриевых мылах.

При использовании пластичных смазок учитывается температура узла трения. Температура каплепадения пластичной смазки должна быть выше на 10 - 12°C температуры узла трения.

Определение температуры каплепадения производится в приборе, который состоит из специального термометра (6) с шариком ртути малого размера и металлической насадки, которая закрепляется на нижней части термометра (рис. 13). В металлическую насадку снизу вставляется стеклянный капсюль (3) для испытуемой смазки. Термометр с насадкой помещается в широкую пробирку (4) и закрепляется с помощью пробки. Пробирка с прибором укрепляется в зажиме штатива (5) и опускается в стакан (2) с водой, установленный на электроплитке (1) или треноге под газ, на асбестовой сетке. Для наполнения капсюля смазкой необходимо иметь шпатель.

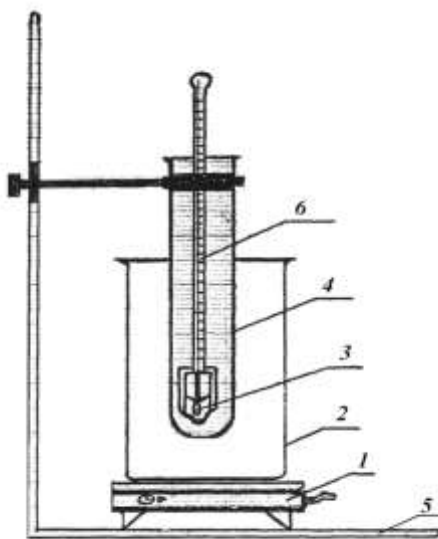


Рис.13. Прибор для определения каплепадения

Проведение испытания

Испытуемую смазку плотно вмазывают шпателем в стеклянный капсюль так, чтобы не было пузырьков воздуха. Излишек смазки срезают ножом с верхней части капсюля. Затем его вставляют в металлическую оправу так, чтобы его верхний край упирался в бортик. Выжатую термометром из нижнего отверстия капсюля смазку снимают ножом. На дне пробирки помещают кружок из бумаги, который сменяют после каждого определения.

Прибор вставляют в пробирку так, чтобы нижний край капсюля находился на расстоянии 25 мм от дна пробирки. Затем пробирка помещается в вертикальном положении в стакан с водой или светлым глицерином так, чтобы нижний край прибора отстоял от дна пробирки на 16 мм. Воду в стакане нагревают сначала быстро, а затем за 20 °С ниже ожидаемой точки каплепадения – медленно со скоростью 1 °С в мин.

Таблица 5.

Наименование консистентной смазки	Температура каплепадения, t, °С по ГОСТ	Температура узла трения для применения смазки, t, °С по ГОСТ

Контрольные вопросы

1. Дайте определение пластичной смазке.
2. Охарактеризуйте эксплуатационные показатели качества консистентной смазки.
3. Перечислите эксплуатационные требования к качеству пластичных смазок.
4. Чем определяется переход смазки из пластичного состояния в жидкое?
5. Перечислите марки пластичных смазок.

Перечень рекомендуемой литературы

Основные источники:

1. Власова И.Л. Материаловедение: учеб. пособие. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016 — 129 с. - Режим доступа: <http://umczdt.ru/books/48/225562/> .

Дополнительные:

1. Журавлева Л.В. «Электроматериаловедение»: М «Академия», 2015.
2. Соколова Е.Н. и др. Материаловедение: учебник – М: Издательский центр «Академия», 2017.
3. Стерин И.С. Материаловедение и термическая обработка металлов: учебное пособие - СПб.: Политехника, 2015. –344 с.
4. Бондаренко Г.Г. и др. Материаловедение. 2-е изд. Учебник для СПО. – М.: Юрайт, 2016.
5. Материаловедение: учебник для СПО. / Адаскин А.М. и др. Под ред. Соломенцева Ю.М. – М.: Высш. Шк., 2015.
6. Плошкин В.В. Материаловедение. 2-е изд., пер. и доп. Учебник для СПО. – М.: Юрайт, 2016.
7. Чумаченко Ю.Т. Материаловедение: учебник для СПО. – Ростов н/д.: Феникс, 2015.

3.2.2. Электронные издания (электронные ресурсы)

1. Получение стали и чугуна [Учебный фильм]. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
2. Оптоволокно. [Учебный фильм]. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
3. Получение алюминия. [Учебный фильм]. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).