**15.04.2021г Материаловедение ГрМ-12**

**Урок №8**

**Время: 2часа.**

**Лабораторные работы№2**

**Тема:**

1. Проверка твёрдости металлов и сплавов по методу Роквелла.

2. Проверка на ударную вязкость маятниковым копиром.

***Задание.*** Работа с конспектом и учебной литературой, систематизация, анализ и обобщение знаний по изученным источникам, подготовка к тестированию по теме, оформление отчета самостоятельного занятия.

***Цель задания:*** - закрепление и систематизация знаний обучающихся по теме «**Проверка твёрдости вязкости металлов и сплавов»** Основные сведения о технологии проверки твёрдости металлов и сплавов при помощи вдавливания специальными приборами.

***Методические указания по выполнению задания для внеаудиторной самостоятельной работы:***

* + Внимательно прочитайте учебный материал, изложенный в опорном конспекте и учебной литературе.
	+ Запомнить и понять основные термины и определения данных тем.
	+ Подготовьтесь к выполнению практических работ, которые вместе с преподавателем разбирались на аудиторном занятии.
	+ Составьте отчет по практическим работам в соответствии с требованиями стандартов и сдайте преподавателю на проверку
	+ Подготовьтесь к выполнению тестового задания, для чего рекомендуется повторить и проанализировать изученный учебный материал по теме**: «Проверка твёрдости и вязкости металлов и сплавов»**

***Определение твердости по Роквеллу***

Назван по имени американского металлургаС. П. Роквелла (*S. P. Rockwell*).

Метод Роквелла был предложен в 1920 г. и в настоящее время получил самое широкое распространение. Это объясняется, во-первых, упрощенной процедурой определения  твердости, когда число твердости  считывается непосредственно со шкалы прибора, а во-вторых, его универсальностью – с его помощью можно испытывать массивные и тонкие образцы из твердых и мягких материалов. В качестве индентора используется алмазный конус с углом при вершине 120° и радиусом закругления 0,2 мм (шкалы А и С) и стальной шарик диаметром 1,5875 мм (1/16 дюйма) (шкала B). Процесс нагружения осуществляется под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок – предварительной  *F*0=98 Н (10кГс) и общей *F*1.

*F*=*F*0+*F*1.

Предварительная  нагрузка подается вручную и не снимается до конца испытаний, что обеспечивает повышенную точность измерений, т.к. исключается влияние вибраций и поверхностного слоя.

Таблица 2. Нагрузка на индентор и диапазоны измерений твердости

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ШкалыРоквелла | Нагрузка на индентор, кгс | Диапазоныизмерений |
| Предварительная | Основная | Общая |
| А | 10 | 50 | 60 | 70...85 *HRA* |
| В | 10 | 90 | 100 | 25...100 *HRB* |
| С | 10 | 140 | 150 | 20...67 *HRC* |

*Измерение твердости по шкале С.* Если индентор внедрится в материал на глубину *h*=0,2 мм, то твердость такого материала условно считается равной нулю. Если же под действием той же нагрузки *F* индентор не внедряется в материал (пластическая деформация равна нулю), то твердость такого материала принято считать равной 100 единицам Роквелла. Таким образом, за единицу твердости принята величина, соответствующая перемещению индентора на 0,002 мм. Применение такой «перевернутой» шкалы (рис. 2) обосновано тем, что глубина внедрения индентора обратно пропорциональна твердости материала. Поэтому твердость материала будет характеризоваться величиной (*h-e*, мм) или числом делений по шкале:



Из формулы (6) очевидно, что «единица Роквелла» (в отличие от единиц Бринелля и Виккерса) оказывается величиной *безразмерной*.



**Рис. 4.** Схема определения твердости методом Роквелла (шкалы *А* и *С*)

*Измерение твердости по шкале А.* Шкалу *А* (идентична шкале *С*) применяют для измерения твердости преимущественно листовых материалов. Из-за снижения нагрузки на индентор в 2,5 раза и уменьшения вследствие этого глубины проникновения индентора минимальную толщину испытуемого образца или изделия удается снизить до 0,4...0,7 мм.

*Измерение твердости по шкале В.* Для многих мягких металлов и сплавов внедрение алмазного конуса может оказаться бóльшим, чем 0,2 мм. В этом случае число твердости, вычисляемое по формуле (6), станет отрицательным (поскольку *h*<*e*), что лишено физического смысла и не может характеризовать твердость материала. В этих случаях применяют следующие меры:

- заменяют конический индентор на сферический;

- снижают нагрузку на индентор в 1,5 раза (со 150 кгсдо 100 кгс);

- смещают шкалу на 30 единиц (шкала *В* красного цвета).

Число твердости определяется при этом по формуле:



Шкала *В* применяется для измерения твердости не закаленной стали, бронзы, латуней и других нетвердых материалов. Для твердых – например, закаленные стали, используется шкала *С,* вдавливание осуществляется  алмазным конусом под нагрузкой 1470 Н (150 кГс). Испытания очень твердых материалов и тонких поверхностных слоев также осуществляется алмазным конусом, но по шкале *А* под нагрузкой 588 Н (60 кГс). К достоинствам метода относится простота определения твердости, высокая производительность, возможность полной автоматизации процедуры испытаний. К недостаткам – многошкальность, отсутствие геометрического подобия отпечатков, условность и безразмерность величины НR,  сравнительно низкая чувствительность. Все эти факторы делают метод Роквелла лишь средством быстрого упрощенного технического контроля.

Твердость указывается в единицах *HR* (*Hardness Rockwell*) с добавлением обозначения шкалы (*HRA, HRB, HRC*), которому предшествует числовое значение твердости из трех значащих цифр.

*Пример обозначения:*61*HRC* – твердость 61 единиц Роквелла по шкале С.

Замечание о переводе чисел твердости*.*Во всех упомянутых выше государственных стандартах указано, что *общего точного перевода чисел твердости, измеренных различными методами (или определения прочности по твердости), не существует.*Однако результаты проведенных многочисленных экспериментов указывают на то, что имеются, хотя и приближенные, но достаточно устойчивые зависимости, «теоретические линии» регрессии которых с определенной статистической достоверностью (доверительный интервал показан пунктиром) приведены на рис. 5.

В приложении приведены сравнения средних значений твердости металлов и сплавов по различным шкалам, что позволяет производить пересчет твердости.



**Рис.5.** Зависимости *HRC* и *HRB* от *HB* для сталей

*Устройство прибора Роквелла*

На рис.6 приведена принципиальная схема твердомера Роквелла. Основными его частями являются: поперечина 1, подвеска 2, шток амортизатора 3, рычаг 4, рукоятка 5, винт 6, крышка 7, рычажок 8, призма 9,  шпиндель 10 с закрепленным на его конце индентором, маховик 11 для перемещения образца, шпонка 12, направляющая втулка 13, станина 14, грузы 15, стойка 16, подъемный винт 17, масляный амортизатор 18, пружина 19, индикатор с двумя шкалами – черной (*С*) и красной (*В*). При этом с большой стрелкой индикатора всегда совмещается нуль черной шкалы, и ни в коем случае – красной. Барабан для точной установки шкалы индикатора на нуль, электромотор, обеспечивающий работу прибора.

Перевод значений твердости HR в НВ провести по таблице 3.



**Рис.6.** Прибор для измерения твердости по Роквеллу

**Задание:**

1. Сравните показания твёрдости измеренных различными методами: Бринелля, Виккерса и Роквелла и сделайте перевод. Данные таблицы №3

Таблица 3. Сопоставление чисел твердости,

измеренных различными методами: Бринелля, Виккерса или Роквелла

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| НВ, HV(«единицы твердости»соответственно по Бринеллю и Виккерсу) | HRB(«единицы твердости» по Роквеллу) | σв(МПа) | НВ, HV(«единицы твердости»соответственнопо Бринеллю и Виккерсу) | HRC(«единицы твердости»по Роквеллу) | σв(МПа) |
| 100 | 52,4 | 333 | 245 | 21,2 | 815 |
| 105 | 57,5 | 350 | 250 | 22,1 | 835 |
| 110 | 60,9 | 362 | 255 | 23,0 | 855 |
| 115 | 64,1 | 382 | 260 | 23,9 | 865 |
| 120 | 67,0 | 402 | 265 | 24,8 | 880 |
| 125 | 69,8 | 410 | 270 | 25,6 | 900 |
| 130 | 72,4 | 430 | 275 | 26,4 | 910 |
| 135 | 74,7 | 450 | 280 | 27,2 | 930 |
| 140 | 76,6 | 470 | 285 | 28,0 | 950 |
| 145 | 78,3 | 480 | 290 | 28,8 | 970 |
| 150 | 79,9 | 500 | 295 | 29,5 | 980 |
| 155 | 81,4 | 520 | 300 | 30,2 | 1000 |
| 160 | 82,8 | 530 | 310 | 31,6 | 1030 |
| 165 | 84,2 | 550 | 320 | 33,0 | 1060 |
| 170 | 85,6 | 565 | 330 | 34,2 | 1090 |
| 175 | 87,0 | 580 | 340 | 35,3 | 1120 |
| 180 | 88,3 | 600 | 350 | 36,3 | 1150 |
| 185 | 89,5 | 620 | 360 | 37,2 | 1180 |
| 190 | 90,6 | 640 | 370 | 38,1 | 1200 |
| 195 | 91,7 | 650 | 380 | 38,9 | 1230 |
| 200 | 92,8 | 665 | 390 | 39,7 | 1260 |
| 205 | 93,8 | 685 | 400 | 40,5 | 1290 |
| 210 | 94,8 | 695 | 410 | 41,3 | 1305 |
| 215 | 95,7 | 715 | 420 | 42,1 | 1335 |
| 220 | 96,6 | 735 | 430 | 42,9 | 1365 |
| 225 | 97,5 | 745 | 440 | 43,7 | 1385 |
| 230 | 98,4 | 765 | 450 | 44,5 | 1410 |
| 235 | 99,2 | 785 | 460 | 45,3 | 1440 |
| 240 | 100 | 795 | 470 | 46,1 | 1480 |

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

**(ПРОЧНОСТЬ НА УДАР)**

***Цель работы***: определение ударной вязкости металлов и сплавов, приобретение навыков в проведении испытаний на ударную вязкость.

***Теоретические основы***

|  |
| --- |
| Многие детали работают в условиях ударных нагрузок (штампы прессов, наконечники от-бойных молотков, кузнечный и слесарный инструмент). Одним из видов динамических испытаний, получивших весьма широкое распространение, является **ударная проба**, служащая для оценки способности материала сохранять свои пластические свойства при динамических нагрузках. В качестве критерия суждения об этом принимается энергия, которая поглощается образцом во время удара, сопровождающегося разрушением материала. ***Ударная вязкость*** — это способность материала оказывать со-противление действию ударных нагрузок. Ударная вязкость определяется на специальной установке — **маятниковом копре** (*Рисунок - Общий вид маятникового копра*). Согласно **ГОСТ 9454—78** «Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенной темпера-турах» ударную вязкость конструкционных материалов рекомендуется определять при разных температурах.  |
| *Рисунок - Общий вид маятникового копра*  |

Для испытания конструкционных материалов на ударную вязкость в зависимости от степени надежности и области применения металлов и сплавов изготавливают образцы 20 типов. Основными являются образцы размерами 55 х 10 х 10 (±0,1) мм с надрезом посередине радиусом 1 мм и глубиной 2; 3; 5 мм или радиусом 0,25 мм и глубиной 2 мм.

Форма надреза (концентратора напряжений) на образцах может быть трех видов:

 U-образной с радиусом 1 мм и глубиной 2 мм;

 V-образной с углом 45° и глубиной 2 мм;

 T-образной с трещиной глубиной 5 мм посередине.

|  |  |
| --- | --- |
| а | б |
| в |
| ***Рисунок - Образцы для испытания на маятниковом копре:*** ***а****— с U-образным концентратором напряжений;****б****— с V-образным концентратором напряжений;* ***в****— с T-образным концентратором напряжений с трещиной посередине*  |

Различные формы концентратора напряжений позволяют создать в образцах неравномер- ные напряжения, способствующие хрупкому разрушению (или изгибу под определенным углом) испытуемых образцов.

Ударная вязкость — это работа удара маятника, затраченная на разрушение образца и от- несенная к площади поперечного сечения этого образца (за вычетом площади надреза).

Работу **К**, *Дж*, затраченную на разрушение образца (работа удара), определяют по форму- ле:

**К = *G l*** (**cosβ – cosα**)

где***G*** — вес маятника, *Н*;

***l***— расстояние от оси вращения маятника до его центра тяжести, *м*;

**α**— угол начального подъема маятника, …°;

**β**— угол отклонения маятника от вертикальной оси после разрушения образца,

Ударную вязкость **КС**, *Дж/м2*, рассчитывают по формуле**: КС=К/S**

где**S** — площадь поперечного сечения образца с учетом надреза (концентратора), *м2*.

В настоящее время (ГОСТ 9454 – 78) применяют следующие обозначения: **KCV** (V – об- разный концентратор, радиус при вершине 0,25  0,025 мм), **КСU** (радиус концентратора 1  0,07 мм) и **КСТ** (образец с усталостной трещиной).

*Пример обозначения ударной вязкости*:

**KСV+50 150/2/8,5**: V-образный концентратор напряжений; верхний индекс +50 — температура в градусах Цельсия, при которой проведено испытание образца; 150 — работа удара в джоулях; 2 — глубина концентратора в миллиметрах; 8,5 — ширина образца в миллиметрах. При испытаниях, проводимых в нормальных условиях (при температуре 18…20 °С), индекс не ставят.

Максимальная работа маятников при свободном падении составляет **300 Дж** (**30 кгс · м**).

При испытаниях на маятниковом копре можно определять ***хладноломкость***, ***синелом-кость***, ***тепловую хрупкость*** и другие, зависимые от температуры, механические характеристи-ки. Для определения ударной вязкости деталей машин после закалки, литья и сварки, а также де-талей, имеющих неоднородность структуры, применяют образцы размерами 55 х 10 х 11 мм с усталостной трещиной. Усталостную трещину изготавливают на специальных вибраторах.

***Сущность метода испытания*** на маятниковом копре заключается в установке образца с концентратором напряжений (надрезом) посередине, подъеме маятника и разрушении образца при свободном падении маятника. При подъёме маятника фиксируется угол **α** (угол подъема). После разрушения образца маятник отклоняется на угол **β**. Далее рассчитывается работа удара **К**, затраченная на разрушение образца, и ударная вязкость.

***Порядок выполнения работы***

**1.** Изучите инструкцию по охране труда при испытании материалов, устройство и принцип действия маятникового копра.

**2**. Установите образец на опоре так, чтобы концентратор напряжений (надрез) был обращен в сторону, противоположную направлению удара маятника.

**3**. Установите вес маятника ***G = 21 кг*** на расстояние от оси вращения маятника до его цен-тра тяжести ***l*** = ***965 мм = 0,96 м***.

**4**. Поднимите маятник до высшего положения ***Н = 1426 мм***, закрепите его защелкой и по шкале определите угол подъема **α**. Установите стрелку 3 шкалы 4 в нулевое положение и плавно, освободив защелку, отпустите маятник. При ударе маятника произойдет разрушение образца. После разрушения образца маятник, отклоняясь в обратном направлении, поднимется на высоту ***h*** и отклонится от вертикальных стоек на угол **β**. По шкале определите угол отклонения **β**.

**5**. Рассчитайте работу, затраченную на разрушение образца и ударную вязкость материала по формулам.

***Оформление результатов работы***

Напишите отчет, в котором укажите название и цель работы, применяемое оборудование, материалы и образцы. Данные измерений и результаты испытаний оформите в виде таблицы:

***Таблица. Результаты испытаний по определению ударной вязкости материалов***

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал  | Размеры образца, *мм*  | Сечение образца в месте концен-тратора**S0**, *м2*  | Наибольший угол подъема **α**, ...°  | Угол от-клонения**β,** ...°  | Эскиз раз-рушаемых деталей, форма из-лома  | Работа удара **К**, *Дж*  | Ударная вязкость **KCV,** *Дж/м2*  |
| Углеродистая сталь марок 30,40  | 120  | 27  |
| Углеродистая сталь марок У8, У10  | 120  | 24  |
| Алюминиевый сплав  | 120  | 35  |
| Серый чугун  | 120  | 19  |

***Форма отчета по практической работам №1;№2***

1. Цель работы.

2. Основные положения.

3. Краткие характеристики методов Бринелля, Роквелла и Виккерса.

4. Способы определения твердости НВ, HV и HR.

5. Таблицы с полученными результатами.

6. Статистическая обработка результатов

7. Вывод по работе.

***Контрольные вопросы.***

1. Дайте определение понятию «твердость материала».

2. Перечислите способы определения твердости материала.

3. Имеется ли связь между числами твердости, найденными различными методами? Приведите ориентировочно эти зависимости.

4. Имеется ли связь между твердостью материала и его механическими характеристиками? Укажите эти зависимости.

5. Расскажите последовательность операций и основные требования ГОСТ при определении твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

6. К каким методам относятся испытания на твердость?

7. В каких единицах измеряется твердость по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу?

8. В чем состоят достоинства и недостатки обоих методов?

9. Как определяется твердость по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу?

10. Что понимается под твердостью по Роквеллу?

11. Пользуясь схемой, расскажите устройство прибора Роквелла.

12. Приведите ориентировочно твердость среднеуглеродистой отожженной и закаленной стали по *HRB*, *HRC* и *НВ*.

13. Укажите размерности всех изучаемых чисел твердости.

14. По какой формуле подсчитывается твердость по Виккерсу? Какую форму имеет индентор при определении твердости этим методом?

15 Опишите, как определяется ударной вязкость металла?