

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ «ИРКУТСКИЙ ТЕХНИКУМ МАШИНОСТРОЕНИЯ
ИМ. Н.П.ТРАПЕЗНИКОВА»

**Методические рекомендации
по выполнению практических работ
по дисциплине: ОП.04. Основы материаловедения**

по профессии
15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))

Иркутск, 2019

РАССМОТРЕНЫ
на заседании ЦК сварочного производства
и строительных профессий
Протокол № 9 от 6 мая 2019 г.

Составитель: Ченских Е.М., преподаватель общетехнических дисциплин
ГБПОУ ИТМ

Методические рекомендации для выполнения практических работ являются частью основной профессиональной образовательной программы подготовки квалифицированных рабочих и служащих по профессии СПО 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки)).

Методические рекомендации включают в себя учебную цель, перечень образовательных результатов, заявленных в ФГОС, задачи, обеспеченность занятия, краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме, вопросы для закрепления теоретического материала, задания для практической работы студентов и инструкцию по ее выполнению, порядок представления отчета о проделанной работе.

Иркутск, ГБПОУ ИТМ, 2019.

СОДЕРЖАНИЕ

- I. Пояснительная записка с общими рекомендациями по выполнению практических работ.
- II. Перечень практических занятий по предмету: **«Основы материаловедения»**
- III. Список используемой литературы.

Раздел	Темы практических занятий	Кол-во час
Раздел1. Основные сведения о металлах и сплавах и их свойствах	1. Определение предела прочности пластичности при растяжении металлов и сплавов.	2
	2. Определение ударной вязкости металлов и сплавов	2
	3. Определение твёрдости металлов и сплавов по Бринеллю.	2
	4. Микроструктурный анализ металлов и сплавов.	2
	5. Исследование влияния скорости охлаждения на свойства стали.	2

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению практических работ составлены в соответствии с рабочими и учебными программами по профессии: 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки)).

Методические рекомендации включают в себя учебную цель, перечень образовательных результатов, заявленных в ФГОС, задачи, обеспеченность занятия, краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме, вопросы для закрепления теоретического материала, задания для практической работы студентов и инструкцию по ее выполнению, порядок представления отчета о проделанной работе.

Целью выполнения практических работ является:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний ;
- углубление теоретических знаний в соответствии с заданной темой;
- формирование умений применять теоретические знания при решении поставленных вопросов в практической деятельности;
- развитие творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности ;

В результате выполнения практических работ студент должен:

знать:

- методы исследования;

уметь:

- работать с учебной и научной литературой.

Методические рекомендации предназначены для оказания помощи студентам в изучении курса по профессии: 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки)) ГБПОУ ИТМ.

В рекомендациях изложен порядок проведения практических работ и приведены примеры оформления отчётов. Практические работы рассчитаны до 2 академических часов.

Предназначено для студентов 1 курса группы ЭС.

Проведение практических занятий предусматривает своей целью закрепление теоретических знаний и приобретение практических умений по программе учебной дисциплины.

УВАЖАЕМЫЙ СТУДЕНТ!

Методические рекомендации по дисциплине ОП. 04 Основы материаловедения для выполнения практических работ созданы Вам в помощь для работы на занятиях, подготовки к практическим работам, правильного составления отчетов.

Приступая к выполнению работы, Вы должны внимательно прочитать цель и задачи занятия, ознакомиться с требованиями к уровню Вашей подготовки в соответствии с ФГОС, краткими теоретическими и учебно-методическими материалами по теме практической работы, ответить на вопросы для закрепления теоретического материала.

Все задания Вы должны выполнять в соответствии с инструкцией, анализировать полученные в ходе занятия результаты по приведенной методике.

Отчет о практической работе Вы должны выполнить по приведенному алгоритму, опираясь на образец.

Наличие положительной оценки по практическим работам необходимо для получения зачета по дисциплине ОП.04. Основы материаловедения, поэтому в случае отсутствия на уроке по любой причине или получения неудовлетворительной оценки за практическую работу, Вы должны найти время для ее выполнения или пересдачи.

Внимание! Если в процессе подготовки у Вас возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения разъяснений или указаний в дни проведения дополнительных занятий.

Время проведения дополнительных занятий можно узнать у преподавателя.

Желаем Вам успехов!!!

№1. Определение предела прочности пластичности при растяжении металлов и сплавов.

Цель работы: Определение предела прочности пластичности при растяжении металлов и сплавов расчётным путём.

Краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме работы

При проектировании машин, механизмов, узлов и отдельных деталей конструктору необходимо знать данные о механических свойствах материала, то есть его прочность, твердость, упругость, пластичность и т.д. Их можно получить путем механических испытаний, проводимых в лаборатории на соответствующих машинах. Таких испытаний проводится много и самых различных.

По характеру нагружения различают испытания статические (спокойная медленная нагрузка), динамические (ударная нагрузка) и испытания на выносливость (при напряжениях, периодически меняющихся во времени).

По виду деформации различают испытания на растяжение, сжатие, срез, кручение, изгиб.

Среди всех видов испытаний наибольшую информацию о механических свойствах материалов можно получить из статических испытаний на растяжение. Испытания проводят на разрывных универсальных машинах в соответствии с ГОСТ 1497 – 84. Для испытаний применяют образцы специальной формы – цилиндрические (рис. 1, а) или плоские (рис.1, б). Образцы имеют рабочую часть длиной ℓ_0 , на которой определяется удлинение, и переходные конусные участки с головками для удержания в захватах. Отношение расчетной длины ℓ_0 к диаметру d составляет: $\ell_0/d = 10$ или $\ell_0/d = 5$.

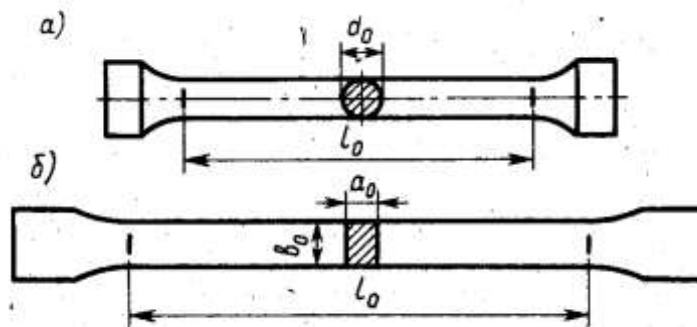


Рис. 1. Образцы для испытаний

В качестве образцов выбираются стали марок Ст3 и Ст3Гпс, имеющие наибольшее применение в конструкциях.

- относительное удлинение и нормальное напряжение рассчитывают :

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Физическим пределом текучести σ_T называется напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки.

Предел текучести является одной из основных механических характеристик прочности металла. Для стали Ст3 $\sigma_T = 220 \dots 250$ МПа.

Текучесть металла связана с изменением его внутренней структуры (переориентацией атомов в кристаллической решетке) и приводит к упрочнению. В этой стадии нагружения полированная поверхность образца становится матовой и на ней можно обнаружить сетку линий, наклоненных к оси образца примерно под углом 45°

(рис. 4). Это так называемые *линии Людерса – Чернова*, представляющие собой следы сдвигов частиц материала.

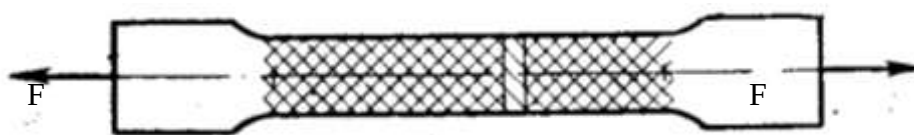


Рис. 4. Линии Людерса – Чернова

После зоны текучести образец снова приобретает способность воспринимать нагрузку, но диаграмма носит криволинейный характер. Напряжение, соответствующее максимальной нагрузке $F_{\max}$, предшествующей разрушению образца (точка D на диаграмме, рис. 2, 3), называется временным сопротивлением или пределом прочности:

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0}$$

Следует помнить, что предел прочности является условным напряжением, так как его значение определяют делением максимальной нагрузки на начальную площадь сечения A_0 .

На всех участках диаграммы растяжения до нагрузки, близкой к максимальной, образец деформируется равномерно. При приближении нагрузки к максимальной равномерность деформирования образца нарушается – образуется местное сужение сечения, называемое *шейкой* (рис. 5). Площадь сечения в шейке быстро уменьшается, и для растяжения такого образца требуется меньшая нагрузка

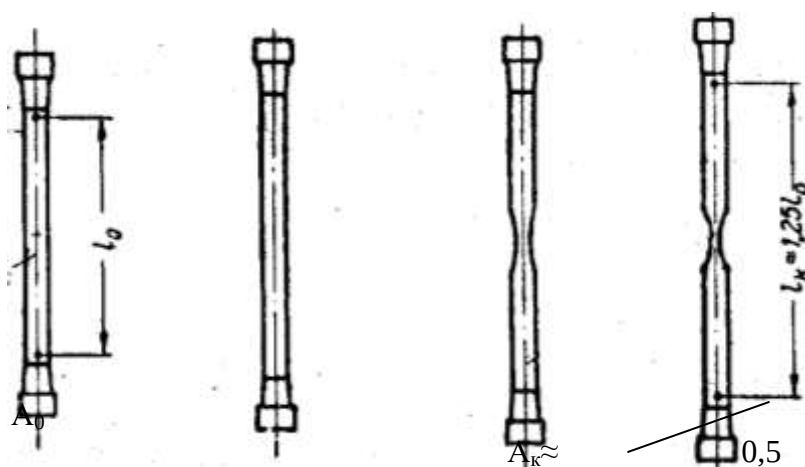


Рис. 5. Изменение длины ℓ и поперечного сечения A образца из низкоуглеродистой стали под нагрузкой

При разрушении образца истинное напряжение, называемое истинным сопротивлением разрыву s_K , значительно больше предела прочности σ_B . Например, для стали Ст3 $\sigma_B = 380$ МПа, а $s_K = 800 \dots 1000$ МПа.

ЗАДАНИЕ

При подготовке к практической работе студент должен:

- правильно определять абсолютную и относительную продольную и поперечную деформации образца;
- ответить на контрольные вопросы;
- правильно оформить отчет по практической работе.

Характеристика образца

Материал	Начальная длина ℓ_0 , мм	Начальный диаметр d_0 , мм
Сталь Ст 3		

Отношение начальной длины ℓ_0 к диаметру d_0 составляет:

$$\ell_0/d_0 =$$

Порядок проведения работы

1. На выполненном рисунке обозначить диаметр d_0 образца и расчетную длину ℓ_0 .
2. Выбрать разрывную силу от 50 до 100 Н.
3. Произвести математические расчёты по образцу.
4. Данные расчетов свести в предложенную таблицу.

Образец расчёта растяжения материала

1. Площадь сечения образца до испытания:

$$A_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot}{4} \approx \text{мм}^2$$

2. Разрывная нагрузка $F =$ Н
3. Длина образца после испытания $\ell_K =$ мм
4. Диаметр шейки образца $d_K =$ мм
5. Площадь сечения шейки образца

$$A_K = \frac{\pi d_K^2}{4} = \frac{\pi \cdot}{4} = \text{мм}^2$$

6. Абсолютное удлинение образца:

$$\Delta \ell = \ell_K - \ell_0 = \text{мм}$$

7. Абсолютное сужение образца:

$$\Delta d = d_0 - d_K = \text{мм}$$

8. Относительное удлинение образца:

$$\varepsilon = \frac{\ell_K - \ell_0}{\ell_0} 100\% = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \cdot 100\% = \%$$

9. Относительное сужение площади сечения при разрыве:

$$\psi = \frac{A_0 - A_K}{A_0} 100\% =$$

10. Предел прочности (временное сопротивление) образца:

$$\sigma_{пч} = \sigma_B = \frac{F}{A_0} = \text{МПа}$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ

Материал образца	Образец 1	Образец 2
Длина начальная ℓ_0 , мм		
Диаметр начальный d_0 , мм		
Нагрузка разрывная F , Н		
Длина конечная ℓ_K , мм		
Диаметр конечный d_K , мм		
Площадь сечения начальная A_0 , мм ²		
Площадь сечения конечная A_K , мм ²		

Абсолютное удлинение $\Delta \ell$, мм		
Абсолютное сужение диаметра Δd , мм		
Относительное удлинение образца, ε %		
Относительное сужение площади сечения при разрыве, ψ %		
Предел прочности (временное сопротивление) образца σ_B , МПа		

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о проделанной работе должен содержать:

- эскиз образца до испытания и после разрушения;
- формулы и результаты вычислений основных механических характеристик материала;
- таблицу результатов испытания.

№2. Определение ударной вязкости металлов и сплавов

Цель работы: Определение ударной вязкости металлов и сплавов расчётным путём.

Краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме работы

В процессе эксплуатации детали различной техники подвергаются действию не только статических, плавно возрастающих нагрузок, но и испытывают динамические (ударные), действующие резко и возрастающие от нуля до своего максимального значения с большой скоростью. Под влиянием ударных нагрузок может произойти разрушение детали. Поэтому необходимо знать, насколько хорошо конструкционный материал сопротивляется таким нагрузкам. Для оценки способности сопротивляться динамическим (ударным) нагрузкам производят механические испытания материалов на ударную вязкость в рабочем диапазоне температур детали.

Ударная вязкость — это способность материала сопротивляться ударным нагрузкам. Она характеризует способность материала поглощать механическую энергию внешних сил за счёт пластической деформации без нарушения сплошности строения, т. е. является энергетической характеристикой материала и выражается в единицах работы (энергии), приходящейся на разрушение единицы объёма материала образца.

Вязкость металлов и сплавов определяется их химическим составом, термической обработкой и другими внутренними факторами. Вязкость также зависит от условий, в которых работает металл (окружающей температуры, скорости нагружения, наличия концентраторов напряжения).

Ударная вязкость характеризует надёжность материала при динамических нагрузках, его способность сопротивляться хрупкому разрушению. Основным динамическим испытанием является метод испытания на ударный изгиб с определением ударной вязкости материала. Эти испытания позволяют определять способность металла противодействовать динамическим нагрузкам и выявлять склонность металла к хрупкому разрушению при различных температурах. В настоящее время наиболее распространенными методами испытаний материалов на ударную вязкость являются метод испытания по Шарпи (см. рис.1) и метод испытания по Изоду (см. рис. 2)

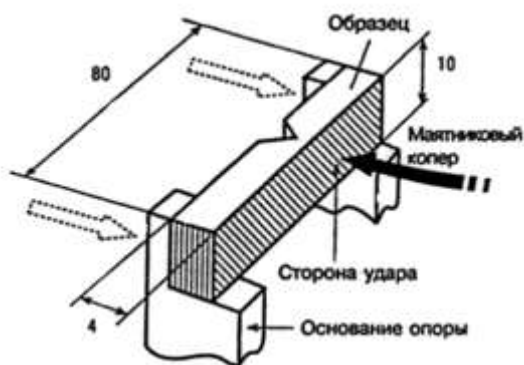


Рисунок 1. Определение ударной вязкости материалов по методу Шарпи

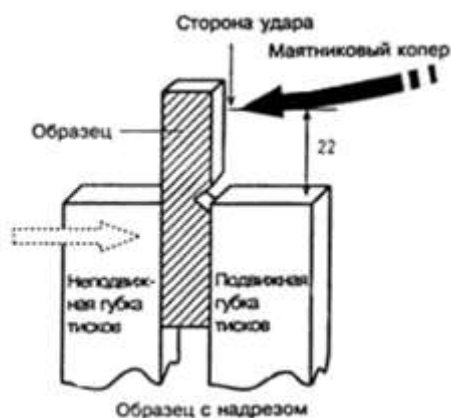


Рисунок 2. Определение ударной вязкости материалов по методу Изода

Испытания на ударный изгиб проводят на приборе, называемом маятниковым копром. Простейший маятниковый копёр представлен на рис. 3.

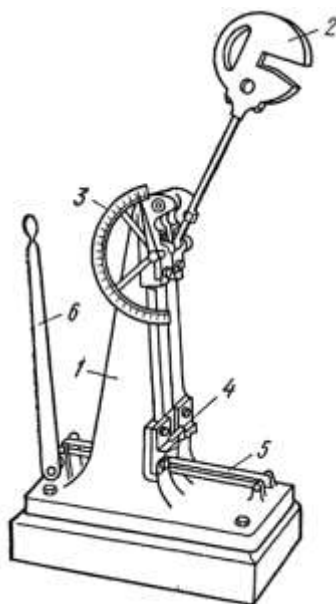


Рисунок 3. Маятниковый копер: 1 — станина; 2 — маятник; 3 — шкала; 4 — образец; 5 — ремень ручного тормоза; 6 — рычаг ручного тормоза

Каждый копер имеет тяжёлый маятник 2, который свободно качается вокруг оси. При помощи специальной защёлки маятник может быть установлен на разной высоте. Если защёлку освободить, то маятник упадёт и взлетит по инерции на такую же высоту, на которую он был поднят. Если на пути падения маятника встретится препятствие в виде образца, то часть энергии падения затратится на преодоление этого препятствия, и маятник взлетит уже на меньшую высоту.

Метод испытания материалов на ударную вязкость основан на разрушении одним ударом маятникового копра стандартных образцов с надрезом определённой формы и размеров (см. рис. 4).

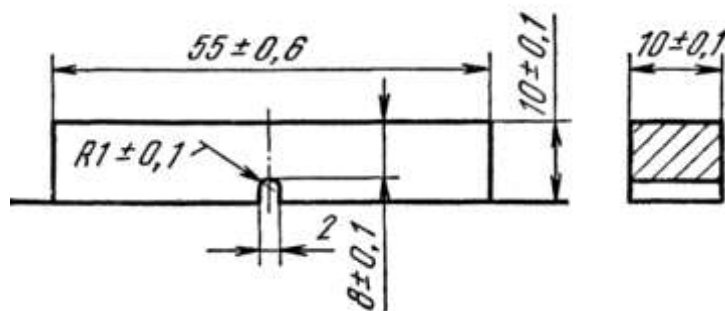


Рисунок 4. Образец для испытания на ударный изгиб

Схема испытаний на ударную вязкость представлена на рис. 5.

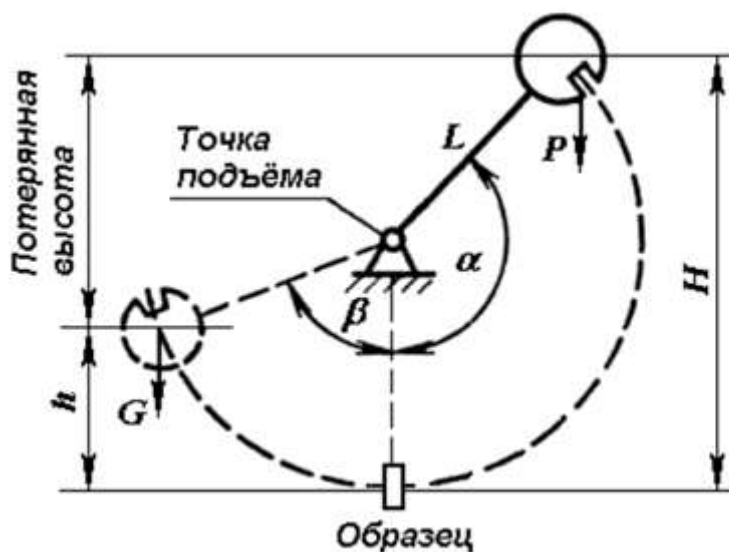


Рисунок 5. Схема испытаний на ударную вязкость

При испытаниях образец 4 устанавливают на пути падения маятника на две опоры станины 1 копра надрезом в сторону, противоположную удару ножа маятника (см. рис. 6).

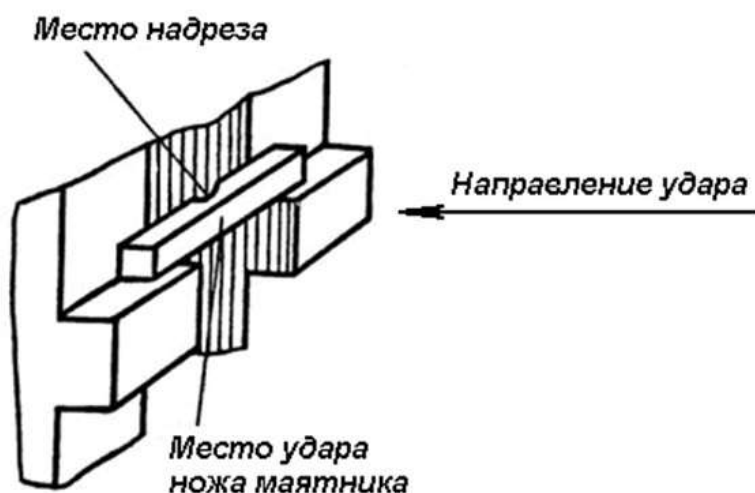


Рисунок 6. Схема установки образца при испытании на ударную вязкость

Далее маятник 2 поднимают на определённую высоту, отклоняя под определённым углом α . Падая с высоты H , маятник изгибает образец и разрушает его. Затем по инерции поднимается на высоту h под углом β . Останавливают маятник ручкой тормоза.

Следовательно, общий запас энергии маятника будет расходоваться на изгиб и разрушение образца, а также на последующий взлёт (рис.5).

Если из общего запаса энергии маятника вычесть часть, затраченную на взлёт после разрушения образца, то получим энергию (работу) удара, затраченную на разрушение образца. Работа удара W , Дж (кгс·м), затраченная на разрушение образца, определится из разности энергий маятника в положении его до и после удара:

$$W = PgL (H - h), (1)$$

где P — масса маятника, кг; $g = 9,81$ — ускорения свободного падения, м²/с; H — высота подъёма маятника до удара, м; h — высота подъёма маятника после удара, м; L — длина маятника, м.

Высоту H и h можно определить, зная длину маятника $L = 50\text{мм}$ и его углы первоначального подъёма $\alpha = 45^\circ$ и последующего взлёта $\beta = 45^\circ$:

$$H = L (1 - \cos \alpha), (2)$$

$$h = L (1 - \cos \beta), (3)$$

где α — угол подъёма маятника до удара; β — угол подъёма маятника после разрушения образца.

Отсюда:

$$W = PgL (\cos \beta - \cos \alpha). (4)$$

Для маятникового копра P и L — величины постоянные. Углы α и β определяют по шкале 3 прибора (см. рис. 7).

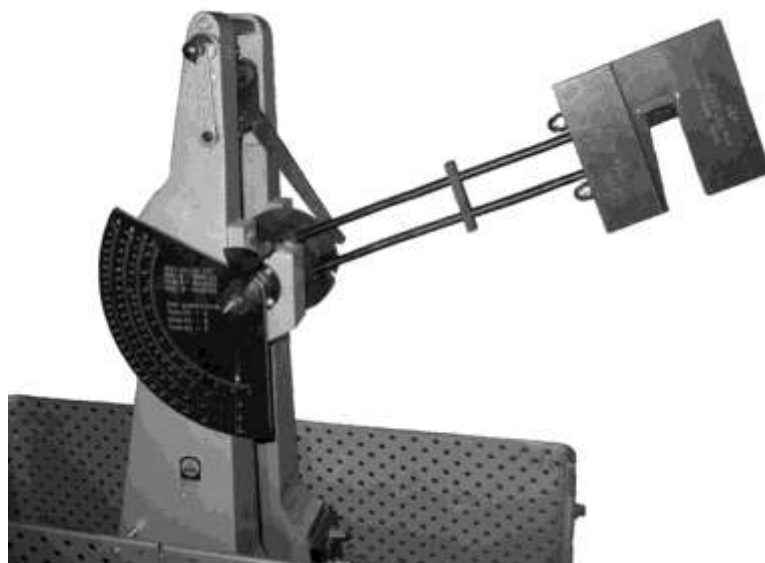


Рисунок 7. Копер маятниковый КМ-5

Для того чтобы не вычислять значение работы удара W по приведённой выше формуле, на практике пользуются специальными переводными таблицами, в которых для каждого угла подъёма маятника после разрушения образца β приведена величина работы удара W .

Основной характеристикой, получаемой в результате испытаний на ударный изгиб, служит ударная вязкость, которую принято обозначать KC .

Ударная вязкость KC определяется как работа W , затраченная на деформацию и разрушение ударным изгибом надрезанного образца, к его начальной площади поперечного сечения в месте надреза F_0 :

$$KC = \frac{W}{F_0}, \quad (5)$$

где F_0 — первоначальная площадь поперечного сечения образца в месте надреза, см^2 .

При записи ударной вязкости в её обозначение вводится третья буква, указывающая вид надреза на испытанном образце: U, V, T. Так запись KCU означает ударную вязкость образца с U-образным надрезом; KCV — ударную вязкость образца с V-образным надрезом; KCT — ударную вязкость образца с T-образным надрезом. Размерность ударной вязкости Дж/см^2 .

Проведение испытаний на ударный изгиб образцов с T-образным надрезом является необходимым для того, чтобы определить сопротивление материала зарождению и распространению трещины (усталостной трещины) в условиях работы. Чем острее надрез, тем более жёстким испытаниям подвергается материал.

Преимуществом метода испытания на ударную вязкость является простота эксперимента, учёт влияния скорости нагружения и концентрации напряжений.

Детали машин, элементы конструкций инженерных сооружений могут работать не только при обычных температурах, но и при низких и повышенных. В связи с этим, для того, чтобы оценить поведение материала при таких температурах (в особых условиях

эксплуатации), испытания на ударный изгиб проводят не только при комнатной температуре.

Для таких испытаний образцы нагревают или охлаждают до требуемой температуры, а затем быстро устанавливают на копёр и подвергают испытанию на ударный изгиб.

Испытания на ударную вязкость при различных температурах позволяют установить ряд следующих важных свойств материала:

1. способность материала выдерживать динамические (ударные) нагрузки;
2. склонность материалов к хрупкому разрушению при определённых температурах;
3. чувствительность материала к концентраторам напряжений (надрезам, выточкам и т. д.).

В связи с особенностью материалов изменять механические свойства при изменении температуры главными задачами испытаний на ударную вязкость являются:

1. выявление склонности материалов к хрупкому разрушению (хладноломкости);
2. определение критических порогов хладноломкости.

Порог хладноломкости — температурный интервал $T_H — T_B$ изменения характера разрушения материала с изменением температуры (см. рис. 8). Этот интервал является важным параметром конструкционной прочности материала, характеризующий его хладноломкость. Верхняя T_B и нижняя T_H границы этого интервала соответствуют верхнему и нижнему порогам хладноломкости.

По данному температурному интервалу устанавливается склонность материалов к переходу из вязкого состояния в хрупкое.

Чем ниже порог хладноломкости, тем менее чувствителен материал к концентраторам напряжений (резкие переходы размеров и формы, отверстия, проточки, риски), а также к скорости деформации. Эксплуатировать материал при температурах ниже порога хладноломкости не следует.

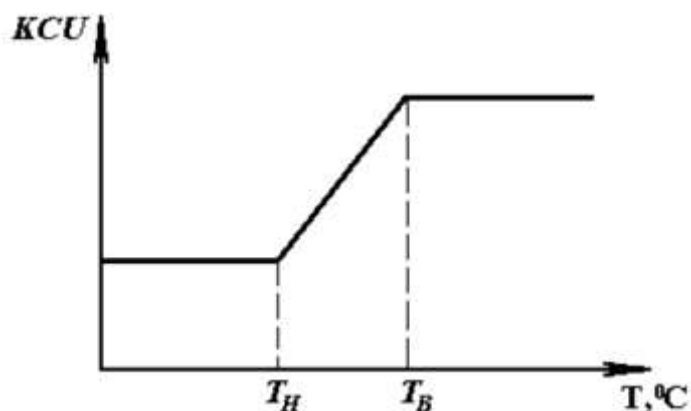


Рисунок 8. Зависимость ударной вязкости от температуры

Согласно ГОСТ 9454 для металлов и сплавов, работающих в условиях атмосферных колебаний температур, ударную вязкость определяют в интервале температур от $50^\circ C$ до $-60^\circ C$.

Для надёжной работы деталей при отрицательных температурах необходимо, чтобы температурный порог хладноломкости был ниже температуры эксплуатации материала; чем он ниже, тем меньше опасность хрупкого разрушения.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о проделанной работе должен содержать:

- эскиз образца до испытания и после разрушения;
- формулы и результаты вычислений основных механических характеристик материала;
- ответы на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. При испытании на ударную вязкость при различных температурах, какие свойства материала можно установить?
2. Чем определяется вязкость металлов и сплавов?
3. Что характеризует ударная вязкость при динамических нагрузках?

№3. Определение твёрдости металлов и сплавов по Бринеллю.

Учебная цель: определить расчётным путём твердость металла по Бринеллю

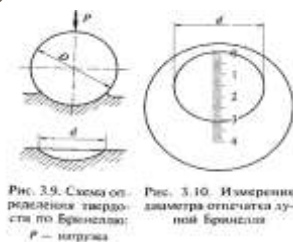
Учебные задачи:

1. Произвести испытание на твердость каждого образца металла.
2. Определить расчётным путём твердость каждого образца металла
3. Составить отчет по проделанной работе

Краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме практической работы

Твердость характеризует сопротивление материала большим пластическим деформациям. Наиболее распространенные методы определения твердости связаны с внедрением в испытуемый материал специального тела, называемого *индентором*, с таким усилием, чтобы произошла пластическая деформация. В материале при этом остается отпечаток индентора, по которому судят о величине твердости. Определение твердости — наиболее распространенный метод исследования свойств материала. Это объясняется рядом причин: определение твердости является неразрушающим методом, так как деталь после такого измерения может быть использована по назначению; испытания на твердость не требуют высокой квалификации; зная твердость, можно судить и о других механических свойствах.

Измерение твердости по Бринеллю



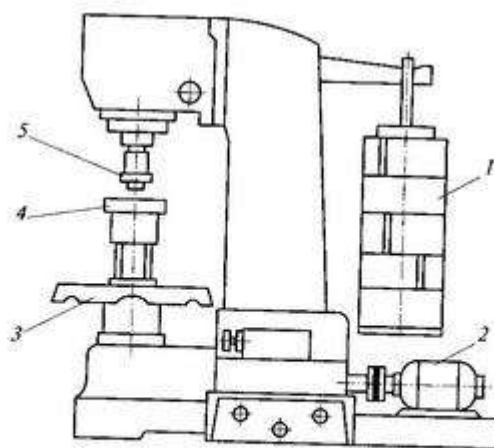


Рис. 3.8. Схема пресса Бринелля:
1 – груз; 2 – электродвигатель; 3 – маховик вращения винта для создания предварительной нагрузки; 4 – установочный стол; 5 – держатель индентора

Метод Бринелля не является универсальным. Он не позволяет испытывать материалы с твердостью более 450 HB (может деформироваться шарик), а также образцы толщиной менее десятикратной глубины отпечатка.

Между твердостью по Бринеллю и пределами прочности и текучести соблюдаются следующие примерные соотношения: для стали HB/3, HB/6; для алюминиевых сплавов 0,362 HB; для медных сплавов 0,26 HB

Измерение твердости по Бринеллю

Твердость по методу Бринелля (ГОСТ 9012-59) измеряют вдавливанием в испытываемый образец стального шарика определенного диаметра D под действием заданной нагрузки P в течение определенного времени (Рис. 1). В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Число твердости по Бринеллю, обозначаемое HB, представляет собой отношение нагрузки P к площади поверхности сферического отпечатка F и измеряется в кгс/мм² или МПа:

$$HB = \frac{P}{F} \quad (2)$$

Площадь шарового сегмента составит:

$$F = \pi \cdot D \cdot h, \text{ мм}^2 \quad (3)$$

где D – диаметр шарика, (мм);

h – глубина отпечатка, (мм).

Так как глубину отпечатка измерить трудно, а проще измерить диаметр отпечатка d , выражают h через диаметр шарика D и отпечатка d :

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}, \text{ (мм)} \quad (4)$$

Тогда

$$F = \frac{\pi \cdot D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}), \text{ (мм}^2 \text{)} \quad (5)$$

Число твердости по Бринеллю определяется по формуле:

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ (кгс/мм}^2 \text{)} \quad (6)$$

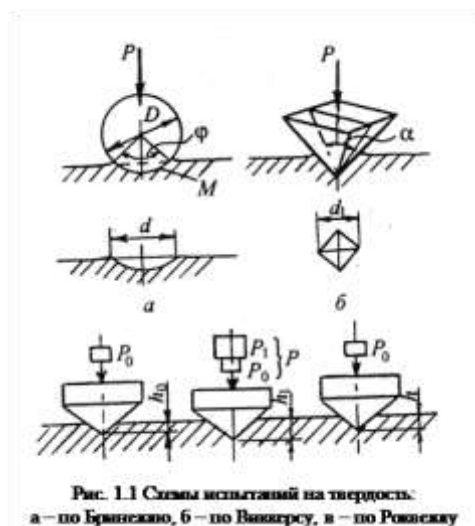
Для перевода твердости по Бринеллю в единицы СИ необходимо умножить число твердости в кгс/мм² на 9,81, т.е. HB=9,81*HB (МПа).

Для получения сопоставимых результатов при определении твердости HB шариками различного диаметра необходимо соблюдать условие подобия.

Подобие отпечатков при разных D и P будет обеспечено, если угол φ остается постоянным (Рис. 1.1). Подставив в формулу (6)

$\frac{d}{D} = \sin \frac{\varphi}{2}$, получим следующее выражение:

$$HB = \frac{P}{D^2} \left[\frac{2}{\pi \left[1 - \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}} \right]} \right]$$



Из этой формулы видно, что значение HB будет оставаться постоянным, если

$$\frac{P}{D^2} = const \quad \text{и} \quad \varphi = const$$

В практике при определении твердости не делают вычислений по формуле (6), а пользуются таблицами, составленными для установленных диаметров шариков, отпечатков и нагрузок. Шарик применяют диаметром 10,5 и 2,5 мм. Диаметр шарика и нагрузка выбираются в соответствии с толщиной и твердостью образца (табл. 1). При этом для получения одинаковых чисел твердости одного материала при испытании шариками разных диаметров необходимо соблюдать закон подобия между получаемыми диаметрами отпечатков. Поэтому твердость измеряют при постоянном соотношении между величиной нагрузки P и квадратом диаметра шарика D^2 . Это соотношение должно быть различным для металлов разной твердости.

Метод Бринелля не рекомендуется применять для материалов с твердостью более 450 HB, так, как стальной шарик может заметно деформироваться, что внесет погрешность в результаты испытаний.

Число твердости по Бринеллю, измеренное при стандартном испытании ($D = 10$ мм, $P = 3000$ кгс), записывается так: HB 350. Если испытания проведены при других условиях, то запись будет иметь следующий вид: HB 5/250/30-200, что означает – число твердости 200 получено при испытании шариком диаметром 5 мм под нагрузкой 250 кгс и длительности нагрузки 30 с.

При измерении твердости по методу Бринелля необходимо выполнять следующие условия:

- образцы с твердостью выше HB 450 кгс/мм² (4500 МПа) испытывать запрещается;

Условия испытания металлов на твердость по Бринеллю

Металлы	Твердость НВ, кгс/кв.мм	Толщина образца, мм	Соотношение между Р и D^2	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка Р, кгс	Выдержка под нагрузкой, с
Черные	140-250	6-3	$P = 30 D^2$	10	3000	10
		4-2		5	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
Черные	140	Более 6	$P = 10 D^2$	10	1000	10
		6-3		5	250	
		Менее 3		2,5	62,5	
Цветные	130	6-3	$P = 30 D^2$	10	3000	30
		4-2		5	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
Цветные	35-130	9-3	$P = 10 D^2$	10	1000	30
		6-3		5	250	
		2-3		2,5	62,5	
Цветные	8-35	Более 6	$P = 2,5 D^2$	10	250	60
		6-3		5	62,5	
		Менее 3		2,5	15,6	

Контрольные вопросы

1. Что называется твёрдостью материала?
2. Сущность метода измерения твёрдости по Бринеллю.
3. Как обозначается и чему численно равна твёрдость по Бринеллю?
4. Какова должна быть толщина образца при определении твердости методом Бринелля.

№4. Микроструктурный анализ металлов и сплавов.

Учебная цель:

1. Изучить теоретическую часть свойств сталей, научиться определять процентное содержание различных фаз (феррит, перлит, цементит), научиться определять марку стали и её свойства по составу различных фаз и содержанию углерода.

2. Изучить теоретическую часть фазовой составляющих чугуна, влияние каждой из них на физические и механические свойства чугуна, научиться определять тип чугуна по его структурной составляющей.

Краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме работы

1. Для сталей.

Сталью называют сплавы железа с углеродом, при содержании С до 2,14%, и другими легирующими элементами.

Углеродистые стали завершают кристаллизацию образованием аустенита. В их структуре нет эвтектики (ледебурита), благодаря чему они обладают высокой пластичностью, особенно при нагреве, и хорошо деформируются. Углеродистые стали при комнатной температуре состоят из двух фаз - *феррита* и *цементита*, которые существуют в сплавах в виде 3-х структурных составляющих: *феррита*, *перлита* и *вторичного цементита*.

Углерод хорошо растворяется в жидком железе, образуя жидкий раствор (расплав). При содержании углерода в расплаве до 0,02% при охлаждении расплава до комнатной температуры весь содержащийся там углерод переходит в кристаллическую ОЦК решетку железа с образованием *феррита (Ф)* – *твердого раствора внедрения углерода в α-железе*. Сплавы со структурой феррита называются техническим железом (рис. 3).

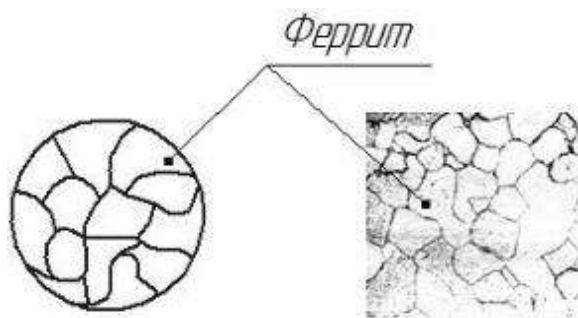


Рис. 3 Структура технического железа, X200

Структурно свободный феррит представляет собой зерна светлого цвета. Он мягок ($\sim 60\text{HB}$), обладает сравнительно низкой прочностью ($\sigma_T \sim 25\text{МПа}$, $\sigma_B \sim 100\text{МПа}$), пластичен ($\delta \sim 40\%$, $\psi \sim 80\%$), вязок ($KCU \sim 2,5\text{МДж/м}^2$), ферромагнитен (до 768°C).

При содержании углерода в стали от 0,02 до 0,8% излишний, относительно феррита, углерод выделяется при охлаждении расплава в виде *цементита (Ц)* – химического соединения железа с углеродом (карбида железа Fe_3C), содержащего 6,67% С.

Цементит обладает очень высокой твердостью ($>800\text{HB}$ или $>65\text{HRC}$), царапает стекло, хрупок, имеет практически нулевую пластичность, ферромагнитен до 210°C .

Цементит в структуре сталей с таким содержанием углерода ($0,02\% \leq C < 0,8\%$) существует в составе структурной составляющей *перлита (П)* – механической смеси феррита и цементита в соотношении 12 к 88, содержащей 0,8% С.

Перлит бывает двух видов:

- пластинчатый (рис. 4 а);
- зернистый (рис. 4 б).

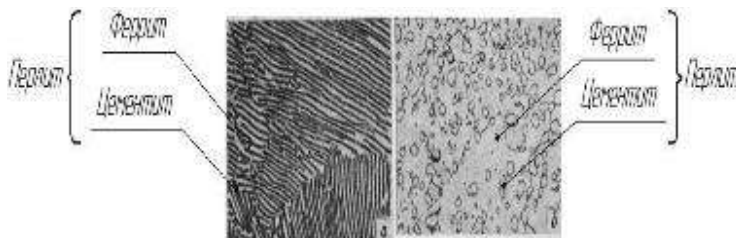


Рис. 4 Структура зерен пластинчатого (а) и зернистого (б) перлита, X1500 и X500, соответственно

В условиях обычного охлаждения получается только пластинчатый перлит. Для получения зернистого перлита, сталь подвергают специальному виду термической обработки – сфероидизирующему отжигу.

Механические свойства перлита промежуточные между ферритом и цементитом и зависят от формы и степени измельченности (дисперсности) частичек цементита: пластинчатый перлит более твердый ($180\text{--}350\text{HB}$) и менее пластичный ($\delta \sim 5\text{--}15\%$), чем зернистый ($160\text{--}220\text{HB}$, $\delta \sim 20\%$). При малом увеличении перлит фиксируется под микроскопом в виде зерен темного цвета.

Стали с содержанием углерода $0,02\% \leq C < 0,8\%$ называются доэвтектоидными. Их структура представляет собой совокупность зерен феррита и перлита (рис. 5).

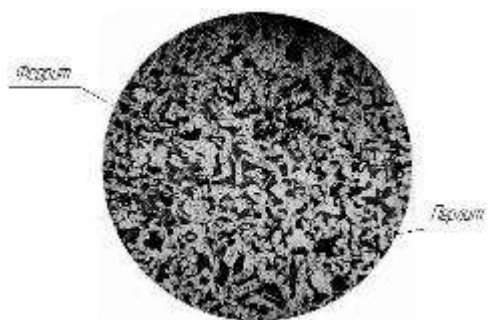


Рис. 5 Структура доэвтектоидной стали ($0,02\% \leq C < 0,8\%$), X100

С увеличением содержания углерода количество зерен феррита в структуре стали уменьшается, а зерен перлита – возрастает, что способствует увеличению прочностных свойств материала.

Зная процент перлита (П) в структуре доэвтектоидной стали можно примерно рассчитать содержание в ней углерода

$$C = \frac{П \cdot 0,8}{100}, \%$$

При содержании углерода 0,8% железоуглеродистый сплав имеет чисто перлитную структуру и называется эвтектоидной сталью (рис. 6).

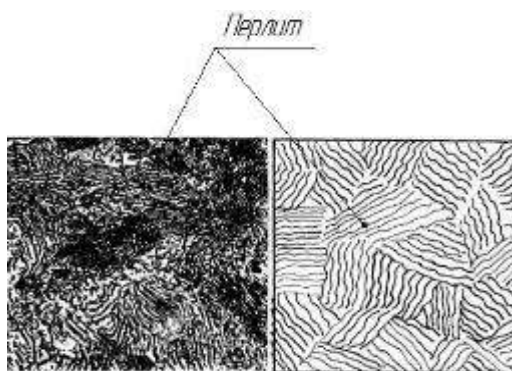


Рис. 6 Структура эвтектоидной стали ($C=0,8\%$), X500

При большем, чем 0,8% содержании углерода в сплаве, излишний относительно перлитного состава цементит образует в структуре сплава самостоятельную структурную составляющую (*вторичный цементит* ($Ц_{II}$)) в виде сетки вокруг конгломератов зерен перлита. Чем больше углерода в сплаве, тем толще сетка вторичного цементита. Сплавы со структурой П + $Ц_{II}$ (рис. 7) называются заэвтектоидными сталями.

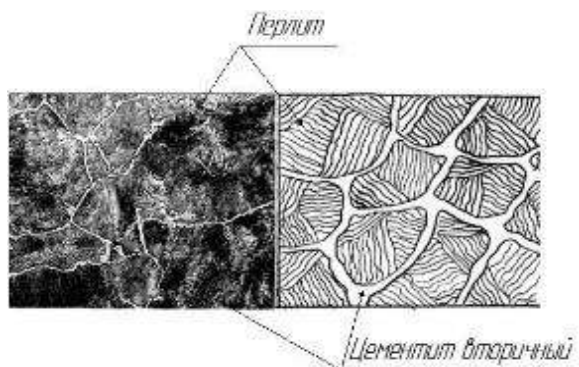


Рис. 7 Структура заэвтектоидной стали ($0,8\% < C < 2,14\%$), X400

С увеличением содержания углерода в составе стали ее вязкость (KCU) и пластичность (δ , ψ) монотонно снижаются, а твердость (HV) непрерывно возрастает. Прочность (σ_T , σ_B) растет только до 1,0% С, а затем снижается, что обусловлено появлением сетки хрупкого вторичного цементита вокруг конгломератов зерен перлита, разрушающейся при нагружении (рис. 8).

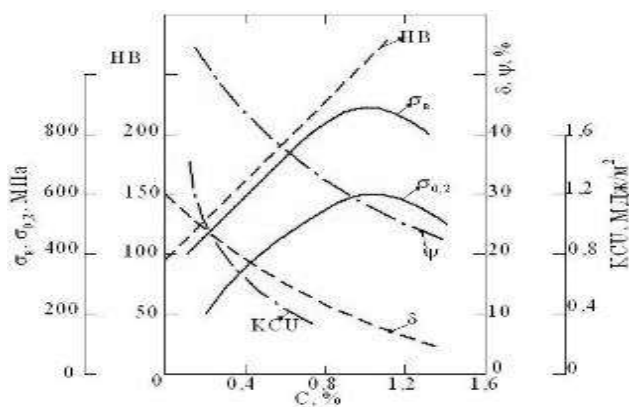


Рис. 8 Зависимость механических свойств углеродистой стали от содержания углерода

Повышение содержания углерода облегчает переход стали в хрупкое состояние: каждые 0,1%С повышают температуру T_{50} полухрупкости на 20^0C .

С увеличением содержания углерода ухудшается свариваемость, а также способность деформироваться в горячем и особенно холодном состоянии.

Лучше всего обрабатываются резанием среднеуглеродистые стали, содержащие 0,3 - 0,4% С. Стали с меньшим содержанием углерода (низкоуглеродистые) при механической обработке дают сливную трудноудаляемую стружку и плохую поверхность. Высокоуглеродистые стали имеют высокую твердость, что требует специального инструмента для их обработки.

Практическая часть

Исходные данные:

Процентное содержание перлита в доэвтектоидной стали -15%

1) Для нахождения процентного содержания углерода в данной стали необходимо составить пропорцию:

100%П - 0,8%С

15%П - X%С

Отсюда $X = (0,8 \cdot 15) / 100 = 0,12\% C$

Такому процентному содержанию углерода соответствует сталь марки Ст 3сп

Механические свойства данной стали:

- **Твердость материала:** $HV 10^{-1} = 116 \text{ МПа}$
- $\sigma_B(\text{МПа}) = 340-440$
- Свариваемость материала: без ограничений.
- Флокеночувствительность: не чувствительна.
- Склонность к отпускной хрупкости: не склонна.

Механические свойства данной стали совпадают с показаниями, приведёнными на рис.8

Таким образом, процентное содержание перлита в стали влияет на её прочностные характеристики: чем больше в стали перлита тем твёрже и прочнее сталь, в тоже время, меньше вязкость.

2. Для чугунов

Чугун – сплав железа с углеродом с содержанием С от 2,14% до 6,67%.

В отличие от стали чугуны заканчивают кристаллизацию образованием эвтектики, вследствие чего обладают низкой способностью к пластической деформации и высокими литейными свойствами.

В зависимости от формы существования углерода все чугуны разделяют на *белые*, у которых весь углерод находится в виде цементита, они имеют в изломе белый цвет, и *серые*, у которых практически весь углерод или его большая часть находится в форме графита.

Белые (передельные) чугуны. Выпускаются, в основном, как полуфабрикат для передела в сталь. Имеют пониженное содержание кремния (0,3-1,25%). Вследствие присутствия цементита хрупки, обладают высокой твердостью, не поддаются обработке резанием, поэтому как конструкционный материал практически не используются. По содержанию углерода и структуре разделяют на *доэвтектические*, *эвтектические* и *заэвтектические*.

Белые чугуны с содержанием углерода $2,14 \% \leq C < 4,3\%$ называются *доэвтектическими*. Их структура - перлит (темные пятна на рис. 9), вторичный цементит (светлые прослойки вокруг пятен) и ледебурит (рябь).

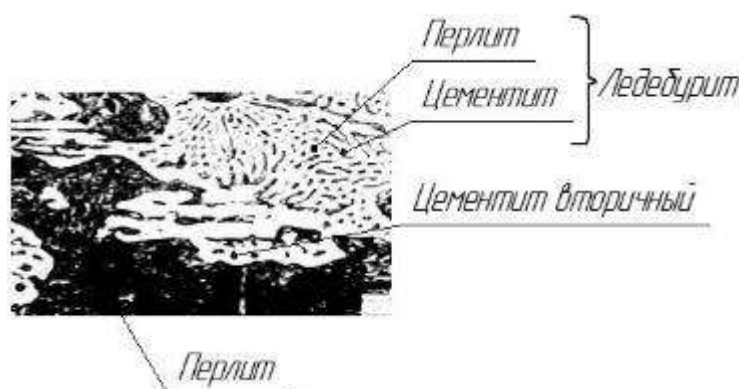


Рис. 9 Структура доэвтектических белых чугунов, X300

Белый чугун с содержанием углерода 4,3% называется *эвтектическим*. Структура - ледебурит, состоящий при комнатной температуре из перлита и цементита (рис. 10).



Рис. 10 Структура эвтектического чугуна, X500

Белые чугуны с содержанием углерода $4,3 \% < C < 6,67\%$ называются *заэвтектическими*. Структура при комнатной температуре - пластины светлого первичного цементита на фоне ледебурита (рис. 11).

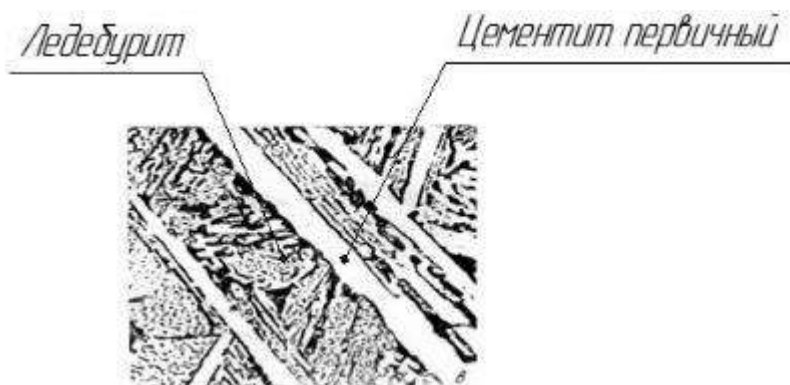


Рис. 11 Структура заэвтектических чугунов, X500

Для того, что бы в процессе охлаждения углерод выделялся в виде графита, а не цементита, т. е. образовывался серый, а не белый чугун, необходимо выполнение двух требований:

- медленная скорость охлаждения;
- наличие в сплаве достаточного количества кремния, как центров кристаллизации графита.

Основная масса графита в серых чугунах образуется при кристаллизации жидкости. Включения графита растут из одного центра в форме цветка (рис. 12, а), сечение лепестков которого в плоскости шлифа имеет вид пластин (рис. 12, б). Графит, выделяющийся при последующем охлаждении из аустенита и при эвтектоидном превращении, не образует самостоятельных включений, а наслаивается на включениях, ранее выделившихся из жидкости, увеличивая их размеры.

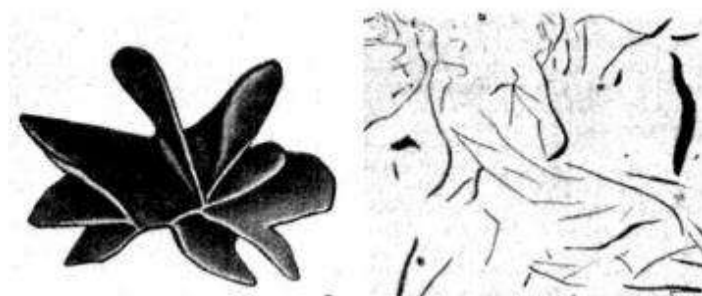
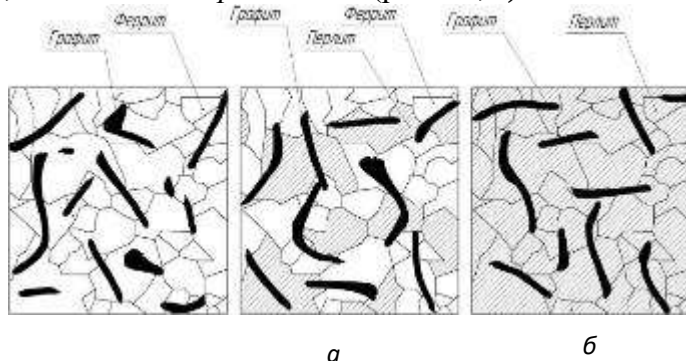


Рис. 12 Вид включений графита в серых чугунах (а), вид на шлифе (б)

Чугуны, у которых весь углерод сплава в процессе охлаждения перешел в графит, называются *ферритными*, так как структура этих сплавов представляет собой зерна феррита с включениями графита (рис. 13, а).

Чугуны, у которых часть аустенита при эвтектоидном превращении перекристаллизовалась в графит и феррит, а часть - в цементит и феррит (в совокупности в перлит), называются *феррито-перлитными* (рис. 13, б).

Чугуны, у которых весь аустенит при эвтектоидном превращении превратился в перлит, называются *перлитными* (рис. 13, в).



а

б

в

Рис. 13 Структура серых чугунов с ферритной (а), ферритно-перлитной (б) и перлитной (в) металлической основой

Обычный серый чугун с пластинчатой формой графитовых включений маркируют буквами СЧ и цифрами, соответствующими пределу прочности материала на растяжение в кгс/мм² (СЧ15). Наименее прочные и наиболее дешевые ферритные и феррито-перлитные чугуны (СЧ10, СЧ15, СЧ18) используют для строительных колонн, фундаментных плит, малонагруженных деталей сельхозмашин (табл.1).

Более прочные перлитные чугуны (СЧ21, СЧ24) используют для изготовления станин станков и деталей металлургического оборудования.

Серые чугуны являются самым дешевым металлическим конструкционным материалом, они прекрасно обрабатываются резанием, обладают высокими антифрикционными свойствами. По сравнению со сталью имеют более высокую жидкотекучесть (в 2 раза) и малую усадку, высокие демпфирующие свойства и способность хорошо гасить вибрации и резонансные колебания. В то же время они очень хрупкие и не выдерживают ударных нагрузок. По этой причине серые чугуны широко используются в технике для изготовления деталей, которые работают в условиях сжатия без ударных нагрузок.

Для придания серым чугунам стойкости к ударным воздействиям изменяют форму графитовых включений с пластинчатой на шарообразную. Это достигается введением в расплав небольших количеств магния и церия.

Такой серый чугун с шарообразной формой графита называется *высокопрочным*. Графитовые включения округлой формы являются меньшими концентраторами напряжений. В результате прочность чугуна повышается (σ_B до 1000 МПа) и резко возрастают пластичность и вязкость (δ до 15%, KCU до 0,2-0,3 МДж/м²).

В зависимости от содержания в сплаве кремния, высокопрочный чугун также может иметь ферритную (рис. 14, а), ферритно-перлитную (рис. 14, б) и перлитную (рис. 14, в) металлическую основу.

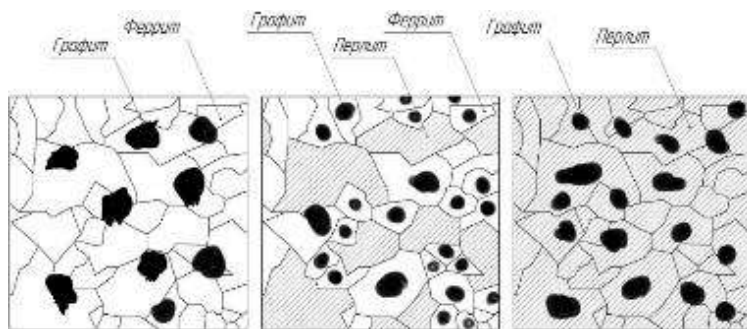


Рис. 14 Структура высокопрочных чугунов с ферритной (а), ферритно-перлитной (б) и перлитной (в) металлической основой

При получении тонкостенных отливок, способных выдерживать ударные нагрузки, очень трудно организовать их охлаждение с малой скоростью, необходимой для получения серого высокопрочного чугуна. Поэтому такие отливки получают, не контролируя скорость охлаждения, в результате чего они приобретают структуру белого чугуна. Затем эти отливки подвергают графитизирующему отжигу при температуре 950 - 1000°C в течении 10 часов. В результате отжига цементит белого чугуна распадается на металлическую ферритную или феррито-перлитную основу и графитовые включения, имеющие форму хлопьев. Такой серый чугун с хлопьевидной формой графитовых включений обладает стойкостью к ударному воздействию и называется *ковким*.

В зависимости от содержания кремния, ковкий чугун также может иметь ферритную (рис. 15, а), ферритно-перлитную (рис. 15, б) и перлитную (рис. 15, в) металлическую основу.

металлическую основу.

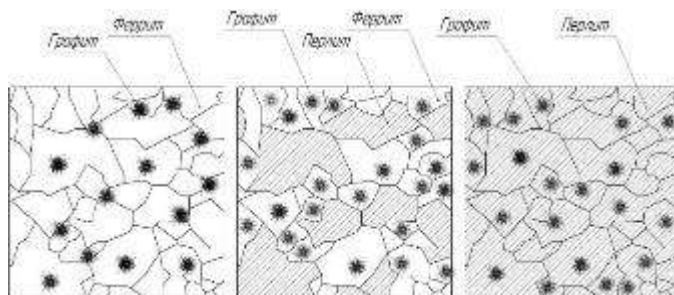


Рис. 15 Структура ковких чугунов с ферритной (а), ферритно-перлитной (б) и перлитной (в) металлической основой

Высокопрочный и ковкий чугун маркируют буквами ВЧ и КЧ и цифрами, первая группа которых соответствует значению предела прочности σ_B чугуна при растяжении в кгс/мм², а вторая – величине относительного удлинения δ в %, например ВЧ50-7 или КЧ80-1,5.

Основные марки серых (пластинчатых), высокопрочных и ковких чугунов, а так же их химический состав и механические свойства представлены в таблице.

Таблица

Химический состав и механические свойства чугунов

Марка чугуна	Структура сплава	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{изг}$, МПа	δ , %	HB	C, %	Si, %	Mn, %
СЧ10	Ф+Г _п	100	-	275	-	185	3,6	2,4	0,7
СЧ25	Ф+П+Г _п	250	-	460	-	215	3,3	1,8	0,8
СЧ35	П+Г _п	350	-	650	-	235	2,9	1,6	0,9
ВЧ38-17	Ф+Г _ш	380	240	-	17	155	3,2	1,5	0,4
ВЧ50-7	Ф+П+Г _ш	500	350	-	7	205	3,2	1,4	0,5
ВЧ1200-2	П+Г _ш	1200	750	-	2	350	3,2	1,2	0,6
КЧ35-10	Ф+Г _х	350	-	-	10	130	2,6	1,2	0,6
КЧ45-7	Ф+П+Г	450	-	-	7	175	2,7	1,1	0,6
КЧ80-1,5	П+Г _х	800	-	-	1,5	295	2,8	0,9	0,6

Другие виды чугунов.

Половинчатый - чугун, в котором основное количество углерода находится в виде цементита. Имеет структуру перлита, ледебурита и пластинчатого графита.

С отбеленной поверхностью - чугун, в котором основная масса металла имеет структуру серого чугуна, а поверхностный слой — белого чугуна. Отбеленный слой получают в толстостенных массивных деталях при литье их в металлические формы. По мере удаления от поверхности вследствие уменьшения скорости охлаждения структура белого чугуна постепенно переходит в структуру серого. Чугун поверхностного слоя в микроструктуре содержит много твердого и хрупкого цементита, который хорошо сопротивляется износу. Поэтому чугуны с отбеленной поверхностью используются для деталей с высокой износостойкостью: - валков прокатных станов, мукомольных валов, вагонных колес с отбеленным ободом, лемехов плугов с отбеленным носком и лезвием. Отбел может достигаться благодаря местному увеличению скорости охлаждения за счет установки в литейную форму холодильников в виде металлических вставок.

Практическая часть

По содержанию Si в чугунах можно определить такую последовательность: При уменьшении в составе Si прочностные характеристики чугунов растут (градиация от Серых

чугунов до Ковких чугунов) Кроме того, чугуны с наименьшим содержанием Si(высокопрочные, ковкие) начинают обладать свойством к удлинению.

Графит повышает износостойкость и антифрикционные свойства чугуна вследствие собственного смазочного действия и повышения прочности пленки смазочного материала. Чугуны с графитом, как мягкой и хрупкой составляющей, хорошо обрабатываются резанием. Содержание графита в чугунах влияет на такие характеристики как: твёрдость – чем больше углерода, тем выше показатели твёрдости, в тоже время чугун становится более хрупким; чем графитовых включений меньше - тем выше прочность чугуна.

Порядок выполнения отчета

1. Записать название работы
2. Изучить предложенный материал и микроструктуры углеродистых сталей и чугунов
3. Сделать зарисовки каждой из этих структур в отчете с указанием структурных составляющих.
4. Ответить на контрольные вопросы и написать вывод.

Контрольные вопросы

1. Дать определения стали и чугуна.
2. Как влияет содержание углерода на свойства сталей и чугунов?
3. Перечислите технологические и механические свойства сталей и чугунов.

Пример написания вывода:

Вывод: Таким образом, в ходе выполнения работы я изучил теоретическую часть, научился определять процентное содержание различных фаз (феррит, перлит, цементит), научился определять марку стали и её свойства по составу различных фаз и содержанию углерода. Изучил теоретическую часть фазовой составляющих чугуна, влияние каждой из них на физические и механические свойства чугуна, научился определять тип чугуна по его структурной составляющей.

№5. Исследование влияния скорости охлаждения на свойства стали.

Учебная цель:

1. Изучить теоретическую часть по теме: «Влияние скорости охлаждения на свойства стали», научиться определять структуру сталей после термообработок.

Краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме работы

Термической обработкой называют процессы, связанные с нагревом и охлаждением, вызывающие изменения внутреннего строения сплава, и в связи с этим изменения физических, механических и других свойств.

Термической обработке подвергают полуфабрикаты (заготовки, поковки, штамповки и т. п.) для улучшения структуры, снижения твердости, Улучшения обрабатываемости, и окончательно изготовленные детали и инструмент для придания им требуемых свойств. В результате термической обработки свойства сплавов могут меняться в очень широких пределах. Например, можно получить любую твердость стали от 150 до 250 НВ (исходное состояние) до 600-650 НВ (после закалки). Возможность значительного повышения механических свойств с помощью термической обработки по сравнению с исходным состоянием позволяет увеличить допускаемые напряжения, а также уменьшить раз Основными видами термической обработки стали являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг стали.

Назначение отжига - снижение твердости, измельчение зерна (перекристаллизация), улучшение обрабатываемости, повышение пластичности и вязкости, снятие внутренних напряжений, устранение или уменьшение структурной неоднородности, подготовка к последующей термической обработке.

На результат отжига влияют следующие факторы:

- 1) скорость нагрева;
- 2) температура нагрева (отжига);
- 3) продолжительность выдержки при температуре нагрева (отжига);
- 4) скорость охлаждения.

Скорость нагрева. Допустимая скорость нагрева зависит от химического состава стали. Чем больше в стали углерода и специальных примесей, тем менее она теплопроводна и, следовательно, тем медленнее следует ее нагревать.

меры и вес детали.

НОРМАЛИЗАЦИЯ СТАЛИ

Нормализацией называют нагрев стали до температуры на 30-50 град выше верхних критических точек, выдержку при этой температуре и охлаждение на спокойном воздухе.

При нагреве низкоуглеродистых сталей до температур нормализации происходят те же процессы, что и при отжиге, т.е. измельчение зерен. Кроме того, вследствие охлаждения более быстрого, чем при отжиге, и получающегося в результате этого переохлаждения, строение перлита более тонкое (дисперсное), и количество эвтектоида (вернее, квазиэвтектоида) больше, чем при медленном охлаждении (при отжиге).

По сравнению со структурой отжига структура нормализации более мелкая, а механические свойства более высокие (повышенная прочность и твердость); это обеспечивается ускоренным охлаждением (на воздухе) по сравнению с медленным охлаждением (вместе с печью) при отжиге.

Закалкой называют нагрев стали выше критической точки с последующим быстрым охлаждением. Обычно нагрев проводят на 30-50 град выше линии GSK на диаграмме железо - цементит.

Назначение закалки - получение высокой твердости или повышенной прочности. На результат закалки, как и отжига, влияют четыре основных фактора – скорость нагрева, температура нагрева, продолжительность выдержки и скорость охлаждения.

Основным и решающим фактором является скорость охлаждения - твердость и физико-механические свойства стали связаны со скоростью охлаждения.

ОТПУСК ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ

Отпуском называют нагрев закаленной стали до температуры ниже критической точки (727°C) с последующим охлаждением. Целью отпуска является частичное или полное устранение внутренних напряжений, снижение твердости и повышение вязкости. Отпуску подвергают закаленную сталь со структурой тетрагонального мартенсита и остаточного аустенита.

Скорость охлаждения стали в различных закалочных средах

В результате закалки сталь получает мартенситную структуру, весьма твердую (свыше 6000 НВ) и хрупкую. Мартенсит представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в $\alpha\text{-Fe}$. Превращение аустенита в мартенсит является бездиффузионным процессом: при быстром охлаждении (со скоростью более 150°C/s) кристаллическая гранецентрированная решетка аустенита превращается в решетку $\alpha\text{-Fe}$. Диффузия атомов углерода при этом не успевает произойти, и они сохраняют прежние положения. В

результате этого создается напряженное состояние кристаллической решетки, что приводит к высокой твердости и хрупкости закаленной стали.

Для уменьшения хрупкости после закалки всегда проводят отпуск, в результате которого уменьшаются внутренние напряжения и сталь приобретает необходимые физико-механические свойства.

Отпуск закаленной стали осуществляют путем нагрева до температуры ниже критических точек A_{c1} , выдержки при этой температуре и последующего медленного или быстрого охлаждения. Быстрое охлаждение в воде рекомендуется при отпуске легированных сталей во избежание отпускной хрупкости. Углеродистые стали охлаждают на воздухе.

Условно различают низкий, средний и высокий отпуск. Низкий отпуск производится при нагреве до $200 - 300^{\circ}\text{C}$. Получаемая при этом структура – отпущенный мартенсит, твердость свыше 5000 НВ. Низкому отпуску подвергаются режущие инструменты, калибры и т.п.

Средний отпуск осуществляется при нагреве от 300 до 500°C . В результате среднего отпуска сталь приобретает структуру троостита отпуска, для которого свойственна твердость около 4 000 НВ. Отпуск на троостит применяется при обработке пружин, рессор, штампов, ударного инструмента и т.п. При промежуточном нагреве получают структуры троосто-мартенсита или троосто-сорбита.

Высокий отпуск производится при нагреве $550-650^{\circ}\text{C}$. Получаемая при этом структура – сорбит отпуска, твердость около 3 000 НВ. Высокому отпуску подвергаются коленчатые валы, полуоси, шатуны, шатунные болты и многие другие детали машин.

Таким образом, по мере повышения температуры отпуска снижаются характеристики прочности, повышаются характеристики пластичности и ударная вязкость. Для различных марок стали величины этих характеристик будут разные, но общая тенденция их изменения остается одинаковой. Наилучшее сочетание свойств прочности и пластичности имеет сталь после закалки и высокого отпуска (структура сорбита).

Порядок выполнения отчета

1. Записать название работы
2. Изучить предложенный материал
3. Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Дать определение и перечислить виды термообработки сталей.
2. В чем заключается сущность термообработки, и на какие свойства она влияет?
3. На что влияет скорость охлаждения стали в различных закалочных средах?

Литература

Основные источники:

1. Адаскин А.М., Зуев В.М. Материаловедение (металлообработка): Учеб. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2010.
2. Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А. Материаловедение. – 7-е изд., М.: Издательский центр «Академия», 2013.

Дополнительные источники:

1. Моряков О.С. Материаловедение – Учеб. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2013.
2. Адашкин А.М., Зуев В.М. Материаловедение (металлообработка): – М.: Издательский центр «Академия», 2008.

Периодические издания:

Журнал «Слесарное дело»

Журнал «Инструмент. Технология. Оборудование»

Интернет-ресурсы:

Слесарные работы. Форма доступа: <http://metalhandling.ru>

Слесарное дело.ру. Форма доступа: www.slesarnoedelo.ru

Слесарное дело в вопросах и ответах. Форма доступа: www.domoslesar.ru