ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Цель работы

1. Изучить теоретический материал по теме работы.
2. Получить представление о стандартных механических характеристиках и некоторых эксплуатационных свойствах металлов.
3. Ответить на вопросы индивидуального задания.

Основные сведения по теме работы

Механические свойства определяют поведение металла под нагрузкой. Характеристики механических свойств получают при *механических испытаниях*. Для этого воздействуют на образец из данного материала какой-то силой и замеряют реакцию материала.

Под действием различных внешних сил металл деформируется и разрушается. Но величиной приложенной нагрузки нельзя охарактеризовать условия нагружения. Важно знать, на какую площадь поперечного сечения эта нагрузка действует.

За характеристику нагружения принимают ***напряжение*** – отношение силы к площади сечения, на которую она действует:

$$\sigma = \frac{P}{F}.$$

Напряжение, действующее на любую произвольно взятую площадку, можно разложить на нормальную составляющую σ, перпендикулярную площадке, и касательную τ (рис. 1, *а*).

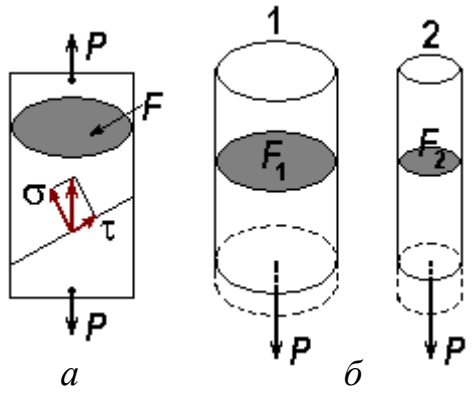

Рис. 1. Нормальное и касательное напряжение *(а)*; деформация стержней при одинаковой нагрузке *(б)*

При одинаковой нагрузке P деформация стержней (рис. 1, *б*) будет разной: второй удлинится больше, так как площадь его поперечного сечения меньше.

$\sigma_1 = \frac{P}{F_1}$; $\sigma_2 = \frac{P}{F_2}$; $\sigma_1 < \sigma_2$, так как $F_1 > F_2$. Напряжение во втором стержне будет больше, поэтому он получит большую деформацию.

Напряжение, которое выдерживает металл, является его основной механической характеристикой, не зависящей от размеров изделия.

Прочность

Прочность – это способность металла сопротивляться деформации и разрушению под действием внешних и внутренних напряжений.

Государственные стандарты предусматривают получение характеристик прочности при испытаниях на растяжение, сжатие, изгиб, кручение. Все это – *статические испытания*, с постепенным, плавным возрастанием нагрузки.

Наиболее информативно испытание на растяжение на разрывной машине; его и проводят в большинстве случаев для получения стандартных характеристик прочности (рис. 2, *а*).

Разрывная машина снабжена устройством для записи так называемой *диаграммы растяжения* – графика зависимости между приложенной нагрузкой *P* и удлинением образца Δ*l* (рис. 2, *б*). Современные машины имеют выход на компьютер, который не только записывает диаграмму, но и рассчитывает характеристики прочности.

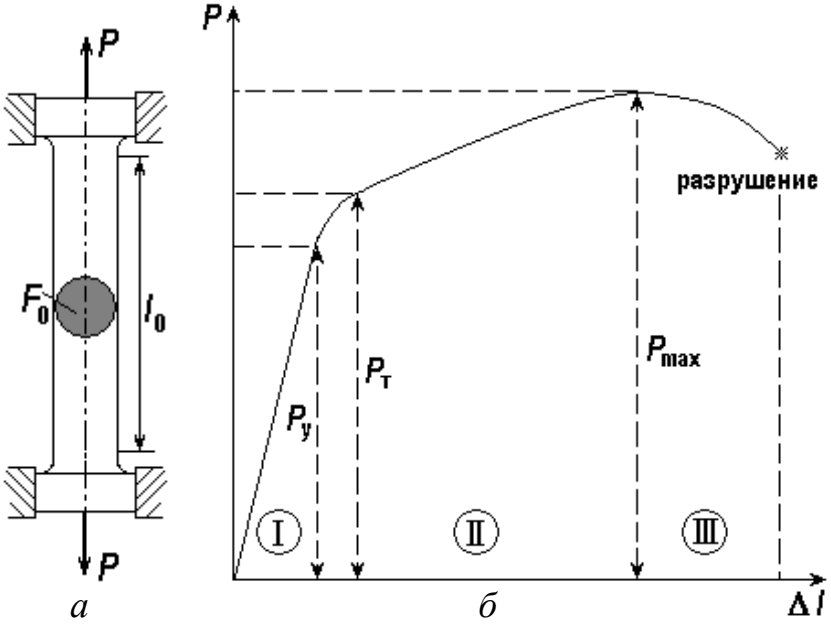

Рис. 2. Образец для испытаний на растяжение и схема испытания на разрывной машине *(а)*; диаграмма растяжения пластичного металла *(б)*

При росте нагрузки *P* длина образца *l* изменяется нелинейно.

На кривой растяжения можно выделить три участка: I – область упругой деформации, II – область пластической деформации, III – область развития трещин. Величина упругой деформации в металлах невелика: менее 1 %. Пластическая деформация у чистых металлов может достигать десятков процентов. Именно в этой области идет активное скольжение дислокаций. При превышении нагрузки P_{max} на образце возникает местное сужение – *шейка*, и деформация становится сосредоточенной. Дальнейшее развитие деформации в шейке приводит к зарождению трещин и разрушению образца.

Из этого испытания можно получить следующие характеристики прочности:

предел упругости $\sigma_{У} = \frac{P_{У}}{F_0}$ [МПа] – это наибольшее напряжение, после которого образец возвращается к прежней форме и размерам;

предел текучести $\sigma_{Т} = \frac{P_{Т}}{F_0}$ [МПа] – это напряжение пластического течения металла без увеличения нагрузки;

предел прочности $\sigma_{В} = \frac{P_{max}}{F_0}$ [МПа] – это наибольшее напряжение, которое металл выдерживает, не разрушаясь.

Истинный, или физический предел текучести $\sigma_{Т}$ определить трудно: не у всех металлов образуется «площадка текучести». Поэтому чаще всего определяют ***условный предел текучести*** σ_{02}, который вызывает остаточную деформацию 0,2 %: $\sigma_{Т} \approx \sigma_{02}$.

Прочностные расчеты чаще ведут по пределу текучести, так как значительная пластическая деформация большинства деталей и конструкций недопустима. Но и предел прочности знать необходимо, так как он показывает, при каком напряжении начнется разрушение.

Пластичность

Пластичность – это способность металла деформироваться без разрушения.

Характеристики пластичности определяют из того же испытания на растяжение. Это

относительное удлинение $\delta = \frac{l_К - l_0}{l_0} \cdot 100$ [%]

и

относительное сужение $\psi = \frac{F_0 - F_К}{F_0} \cdot 100$ [%],

где l_0 и $l_К$, мм – длина образца до и после испытания;

F_0 и $F_К$, мм^2 – начальная и конечная площадь поперечного сечения образца (рис. 2, *а*).

Относительное удлинение и относительное сужение являются одновременно и критериями надёжности: материал, имеющий бóльшие значения δ и ψ, более надёжен.

Твёрдость

Твёрдость – это способность материала сопротивляться внедрению в него другого, более твердого тела.

Методы измерения, приборы, обозначение, единицы измерения твёрдости описаны в методических указаниях к лабораторной работе «Определение твёрдости металлов и сплавов». Изучить самостоятельно!

Вязкость

Вязкость – это способность материала сопротивляться разрушению при ударных, динамических нагрузках.

Характеристика вязкости определяется при испытании на ударный изгиб. Это, в отличие от всех предыдущих, динамическое испытание, при котором нагрузка прилагается к образцу с очень большой скоростью, за тысячные доли секунды.

Испытание проводится на маятниковом копре (рис. 3).

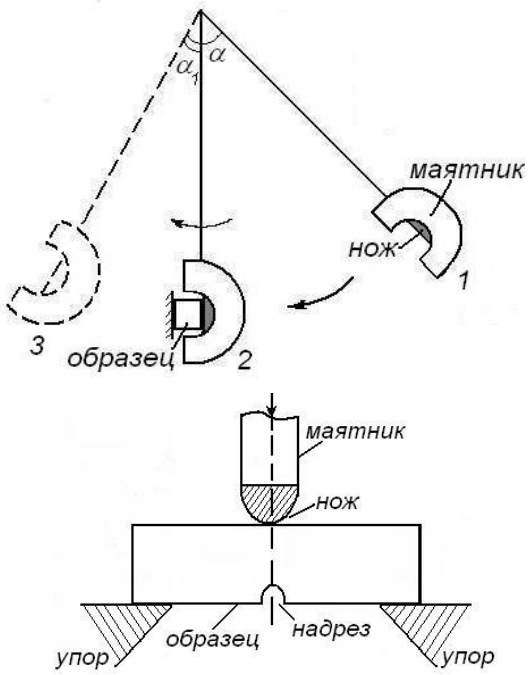

Рис. 3. Схема испытания
на маятниковом копре

Тяжёлый маятник, поднятый на определенный угол, отпускают. На пути движения маятника находится образец. Удар ножа маятника разрушает его. Произведённая при разрушении работа определяется как разность между потенциальной энергией маятника до и после испытания.

Ударная вязкость – это работа разрушения образца, отнесённая к площади поперечного сечения:

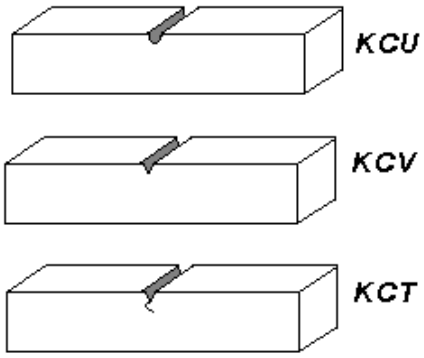

Рис. 4. Образцы для испытаний на ударную вязкость

$$KC = \frac{A_р}{F} \text{ [Дж/м}^2\text{], где}$$

$A_Р$ – работа разрушения,

F – площадь поперечного сечения образца.

Образец должен иметь надрез – концентратор напряжения. Обозначение ударной вязкости зависит от вида надреза (рис. 4).

Для одного и того же материала $KCU > KCV > KCT$, т. е. чем острее надрез, тем легче разрушается материал.

Ударная вязкость тоже является критерием надёжности материала, гарантией, что он не будет разрушаться хрупко, внезапно.

Строго говоря, ударная вязкость является комплексной характеристикой, включающей удельную работу зарождения трещины $a_з$ и удельную работу распространения трещины $a_р$. Для более достоверной оценки надёжности материала методом экстраполяции определяют ударную вязкость при радиусе концентратора r, стремящемся к нулю (рис. 5). Это и будет работа распространения трещины $a_р$, позволяющая оценить надёжность (зародыши трещин в материале есть почти всегда, вопрос в том, будут ли они расти).

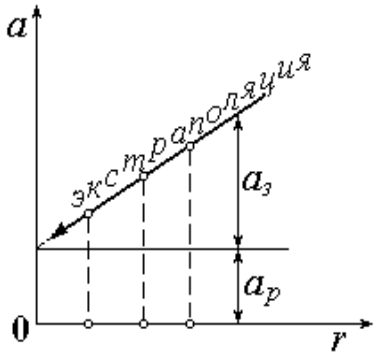

Рис. 5. Определение работы зарождения трещины

Некоторые эксплуатационные свойства

В условиях эксплуатации свойства материалов могут не соответствовать стандартным, приведённым в справочниках значениям. В различных агрессивных средах, при действии высоких или низких температур материалы проявляют значительно меньшую прочность и долговечность, чем при нормальных условиях.

1) Хладноломкость

При низких температурах (от 0 до –269 ºС, температуры жидкого гелия) увеличивается склонность металла к хрупкому разрушению. При этом резко снижается ударная вязкость (KCU, KCT) и изменяется строение излома – от волокнистого, матового до кристаллического, блестящего.

Свойство металла хрупко разрушаться, терять вязкость при понижении температуры называется ***хладноломкостью***.

За характеристику хладноломкости принимают ***температурный порог хладноломкости*** t_{50}. Это температура, при которой величина ударной вязкости уменьшается вдвое (рис. 6). При этом излом имеет строение наполовину вязкое, наполовину хрупкое.

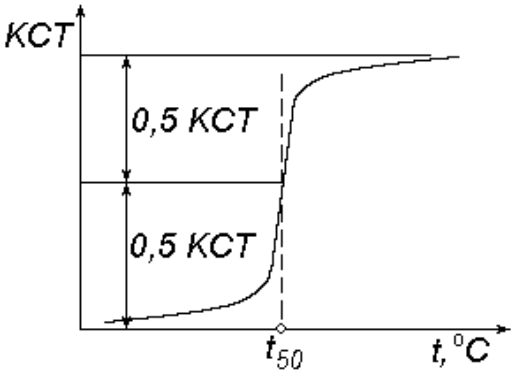

Рис. 6. Определение порога хладноломкости

2) Выносливость

Многие детали – валы, оси, шестерни – испытывают переменные по величине и направлению нагрузки. Под действием многократно повторяющихся знакопеременных нагрузок в металле накапливаются повреждения, дефекты. Это явление называется *усталостью*.

В таких условиях работы напряжения, меньшие $\sigma_В$ и даже $\sigma_Т$, могут вызвать зарождение и рост *усталостной трещины*. Обычно она возникает на поверхности детали и затем подрастает с каждым циклом нагружения. Это постепенно приведёт к разрушению.

Выносливость – это способность металла противостоять усталости, сопротивляться разрушению при знакопеременных нагрузках.

Характеристики выносливости определяются из испытаний на специальных машинах циклического действия. Нагрузка, действующая на каждую точку поперечного сечения образца, непрерывно меняется по величине и направлению (рис. 7).

Пределом выносливости, или *пределом усталости* σ_{-1} называется наибольшее напряжение, которое не вызывает разрушения образца после заданного числа циклов нагружения.

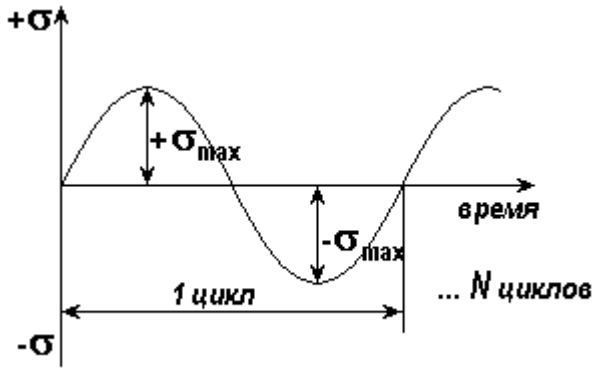

Рис. 7. Схема циклического нагружения при усталостных испытаниях

При испытании сталей стандартное число циклов нагружения $N = 10^7$, при испытании цветных металлов и сплавов $N = 10^8$.

Пример задания для практической работы

1. При каком напряжении деформация металла идёт без увеличения нагрузки?

2. Дайте определение характеристике пластичности ψ.

3. Какими характеристиками оценивают прочность металла?

4. Что такое вязкость?