

Определение характеристик механических свойств при помощи испытания на растяжение цилиндрического образца

Цель работы: изучить методику построения кривой упрочнения при помощи испытания на растяжения, определить модуль Юнга, сопоставить полученные результаты с результатами испытаний на сжатие.

Основные теоретические сведения

Испытания на одноосное растяжение заключается в деформации растяжением цилиндрического (рисунок 1) либо плоского образца, закрепленного в захватах, и одновременном фиксировании нагрузки и относительного удлинения и последующей обработке полученных данных.

Испытания на одноосное растяжение стандартизованы. ГОСТ 1497-84, ГОСТ 11701-84 и ГОСТ 9651-84 устанавливают методы статических испытаний на растяжение черных и цветных металлов и сплавов для определения характеристик механических свойств при различных температурах. Однако среди характеристик механических свойств, определяемых данными методами, кривой упрочнения нет. ASTM E8(M) стандартизирует методы испытаний на растяжение металлических материалов, в том числе, метод построения кривой упрочнения.

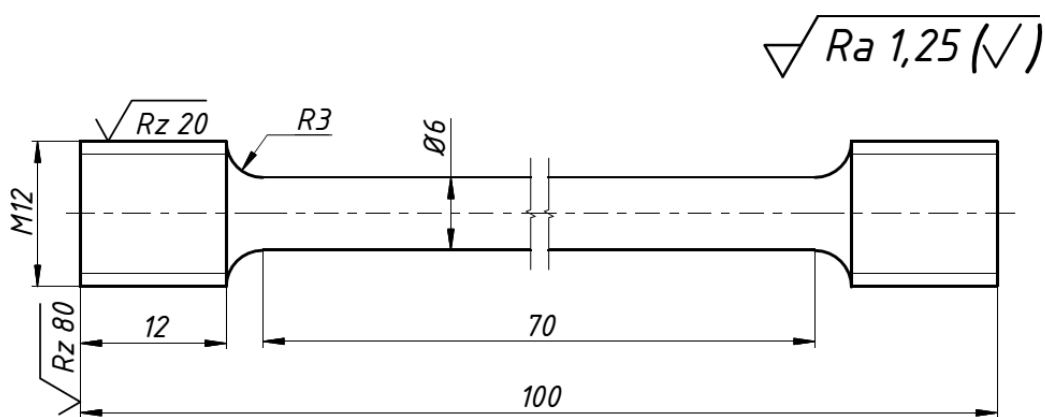


Рисунок 1 – Стандартный пропорциональный цилиндрический образец по
ГОСТ 1497-84

Испытание на растяжение в области равномерного удлинения (до истинной деформации не более 0,3) позволяет очень просто получить кривые текучести, так как при одноосном напряженном состоянии главное напряжение равно сопротивлению деформации:

$$\sigma_s = \sigma_1 = \frac{P_i}{F_i} = \frac{P_i}{F_i} \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} \quad (1)$$

Напряженное и деформированное состояние на рабочей длине образца при испытании на растяжение представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Напряженное и деформированное состояние на рабочей длине образца при испытании на растяжение

При статических испытаниях металлов определяются: упругие свойства; свойства, характеризующие сопротивление (выраженные в напряжениях) малым, начальным пластическим деформациям; свойства, характеризующие сопротивление (напряжения) значительным пластическим деформациям; свойства, характеризующие сопротивление (напряжения) разрушению; свойства, характеризующие пластичность, иногда также статическую вязкость.

Простота (одноосность) напряженного состояния при растяжении сохраняется только до образования шейки (до достижения наибольшей нагрузки при отсутствии разупрочнения).

В первом приближении макроскопическая связь между нагрузками, действующими на поликристаллическое металлическое тело, и вызываемыми ими деформациями отображается диаграммами типа изображенной на рисунке 3, которые строятся экспериментально, чаще всего по результатам обычных испытаний при статическом растяжении.

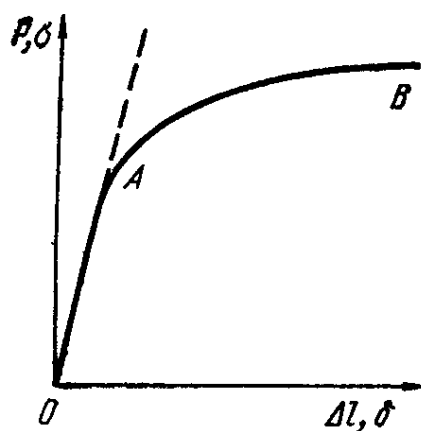


Рисунок 3 – Изменение абсолютного удлинения в зависимости от растягивающей нагрузки при растяжении

Кривая изменения абсолютного удлинения Δl в зависимости от прилагаемой нагрузки P при растяжении состоит из прямолинейного участка OA и криволинейного AB , отвечающего переходу в область пластических (остаточных) деформаций и характеризуемого постепенным уменьшением тангенса угла наклона кривой к оси абсцисс.

Пластической называют деформацию, остающуюся после снятия нагрузки. Величина остаточной деформации в момент разрушения (удлинение, сужение) служит мерой пластичности материала. Если величина пластической деформации до разрушения мала, то материал называют хрупким. В случае металлов любому виду разрушения (вязкому или квазихрупкому) предшествует пластическая деформация, но при квазихрупком разрушении она весьма мала, локализована в микро- и субмикрообъемах и не выявляется при обычных методах измерения макродеформации.

Переход в пластическую область обычно обнаруживается не только по прямому признаку — появлению остаточных деформаций, но и по уменьшению наклона кривой с увеличением степени деформации. Поэтому точное фиксирование кривой деформации и ее анализ имеют важное значение для характеристики перехода в область пластических деформаций, особенно при испытании малопластичных материалов. В современных испытательных машинах, помимо создания их высокой жесткости, уделяется большое внимание высокой точности записи диаграммы напряжение — деформация, в частности возможности увеличения масштабов записи как всей кривой, так и любого ее участка (например, при переходе от упругой к пластической деформации)

Прямолинейный участок диаграммы OA , на котором отношение удлинения к напряжению является постоянной величиной, характеризует упругую деформацию, причем величина этого отношения $E = \sigma / \delta$ определяет «жесткость» материала через модуль упругости первого рода E (модуль Юнга, МПа)

Напряжения ниже точки A практически не вызывают измеримой остаточной деформации и относительно этой точки могут быть установлены (с определенным допуском на точность измеряемых деформаций) предел упругости σ_y , а также предел пропорциональности $\sigma_{пл}$. Здесь и дальше напряжения получаются делением соответствующей нагрузки на F_0 — площадь поперечного сечения образца до испытания.

Предел упругости σ_y — условное напряжение, соответствующее появлению остаточных деформаций определенной заданной величины (0,001; 0,003; 0,005%); допуск на остаточную деформацию указывается в индексе при σ_y .

Предел пропорциональности $\sigma_{пл}$ — условное напряжение, соответствующее отклонениям от линейного хода кривой деформации (от закона Гука), задаваемым определенным допуском (например, увеличением тангенса угла наклона кривой деформации к оси напряжения на 25 или 50% при переходе от прямолинейного участка к криволинейному).

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ — это условное напряжение, при котором остаточная деформация достигает определенной величины (обычно 0,2% от рабочей длины образца). Величину $\sigma_{0,2}$ определяют, как правило, для материалов, у которых на диаграмме отсутствуют площадки или зуб текучести.

Для определения предела текучести условного $\sigma_{0,2}$ (или с иным установленным допуском) по диаграмме растяжения вычисляют величину пластической деформации с учетом установленного допуска, исходя из длины рабочей части образца или начальной расчетной длины по экстензометру. Найденную величину увеличивают пропорционально масштабу диаграммы и отрезок полученной длины OE откладывают по оси удлинения от точки O (рисунок 4а). Из точки E проводят прямую, параллельную OA . Точка пересечения прямой с диаграммой соответствует усилию предела текучести условного при установленном допуске на величину пластической деформации. Если прямолинейный участок диаграммы растяжения выражен нечетко, то рекомендуется следующий способ определения предела текучести условного $\sigma_{0,2}$ (или с иным установленным допуском) – рисунок 4б.

После того как ожидаемый условный предел текучести будет превышен, усилие на образец снижают до величины, составляющей примерно 10 % от достигнутого. Далее производят новое нагружение образца до тех пор, пока величина приложенного усилия не превысит первоначальную.

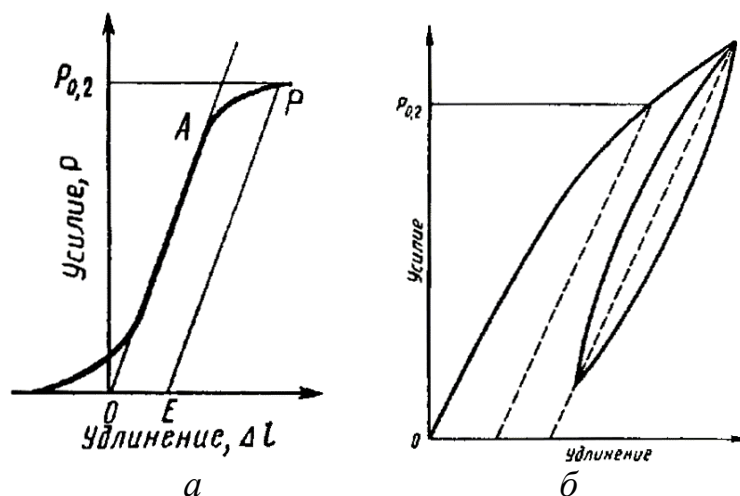


Рисунок 4 – Методика расчета модуля Юнга и предела текучести

Для определения усилия на диаграмме проводят прямую вдоль петли гистерезиса. Далее проводят параллельно ей линию, расстояние от начала которой до точки O диаграммы, отложенное по оси удлинения, соответствует допуску на величину пластической деформации. Кроме того, используя петлю гистерезиса при разгрузке и последующей нагрузке, можно рассчитать модуль Юнга.

Величина усилия, соответствующая точке пересечения этой линии с диаграммой растяжения, соответствует усилию условного предела текучести при установленном допуске на величину пластической деформации.

В тех случаях, когда диаграмма деформации имеет площадку текучести (рисунок 5а), измеряют предел текучести (физический) σ_T — условное напряжение, соответствующее наименьшей нагрузке площадки текучести, когда деформация образца происходит без увеличения нагрузки. Иногда распространение деформации по длине образцов из пластичных материалов при напряжениях, отвечающих площадке текучести, носит волнообразный характер: вначале образуется местное утонение сечения, затем это утонение переходит на соседний объем материала и этот процесс развивается до тех пор, пока в результате распространения такой волны не возникает общее равномерное удлинение, отвечающее площадке текучести. Когда имеется зуб текучести (рисунок 5б), вводятся понятия о верхнем и нижнем пределах текучести.

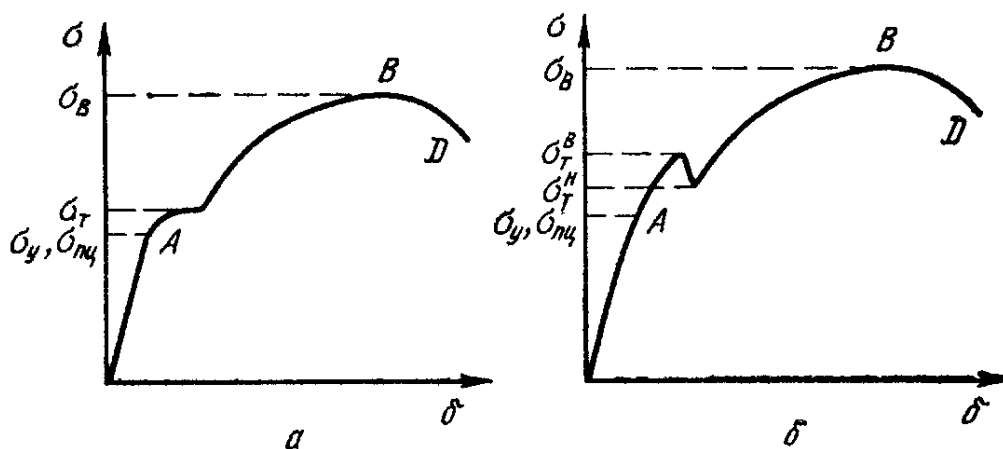


Рисунок 5 – Диаграмма растяжения металлов, дающих площадку (а) и зуб (б) текучести

Если при испытании образцов, например, на растяжение, не возникает локализованной деформации (не образуется шейка — местное сужение поперечного сечения), то образец разрушается при какой-то максимальной нагрузке, отвечающей точке B на рисунке 3. Деление этой нагрузки на площадь начального поперечного сечения дает разрушающее напряжение, называемое временным сопротивлением, или пределом прочности σ_B — это условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, выдерживаемой образцом. В тех случаях, когда окончание растяжения сопровождается местным утонением образца (образованием шейки), диаграмма деформации имеет вид, изображенный на рисунках 5а и 5б, т. е. нагрузка в момент разрыва пластичного металла и напряжение, отнесенное к исходному сечению (т. е. точка D), могут быть меньше, чем напряжение в какой-то предыдущий момент растяжения. Но и в этом случае временное сопротивление, или предел прочности, определяется применительно к точке B , т. е. относительно максимальной нагрузки, момент достижения которой практически совпадает с началом образования шейки в образце из пластичного

материала. Появление шейки определяет переход от равномерной деформации всей рабочей части образца к сосредоточенной деформации в определенном сечении.

При переходе в область пластических деформаций (правее точки *A* на рисунках 5*a* и 5*б*) изменения сечения детали или образца становятся уже значительными и отнесение нагрузки к исходному (до деформации) сечению дает лишь условные напряжения. Если учитывать изменение сечения при деформации и относить нагрузку не к исходному сечению, а к сечению в каждый данный момент деформации, то получают истинные напряжения. Эти последние, естественно, отличаются от условных напряжений и тем больше, чем пластичнее материал (чем сильнее меняется сечение в ходе деформации относительно исходного).

Интенсивность напряжений:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - \sigma_1)^2} = \sigma_1 = \frac{P}{F} = \frac{P \cdot L}{V_0}, \quad (2)$$

где P – текущая сила деформирования;

F – текущая площадь сечения заготовки на этапе равномерного растяжения;

V_0 – начальный объем заготовки между зажимами экстензометра;

L – текущее расстояние между зажимами экстензометра.

Здесь учтен закон постоянства объема при пластической деформации

$$F_0 \cdot L_0 = F \cdot L = V_0, \quad (3)$$

где F_0 – начальная площадь сечения заготовки;

L_0 – база измерений экстензометра.

Интенсивность деформаций:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\left(\dot{\varepsilon}_1 - \left(-\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_1\right)\right)^2 + \left(\left(-\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_1\right) - \left(-\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_1\right)\right)^2 + \left(\left(-\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_1\right) - \dot{\varepsilon}_1\right)^2} = \dot{\varepsilon}_1 \quad (4)$$

При равномерном растяжении

$$v_x = v_0 \frac{x}{L}, \quad (5)$$

где v_0 – относительная скорость перемещения зажимов экстензометра;
 x – текущая координата от одного из зажимов экстензометра.

Следовательно,

$$\dot{\varepsilon}_1 = \frac{\partial v_x}{\partial x} = \frac{v_0}{L} \quad (6)$$

Истинное удлинение рассчитывается следующим образом:

$$q = \int_0^t \bar{\varepsilon} dt = \int_0^t \frac{v_0}{L} dt = \int_{L_0}^L \frac{dl}{L} = \ln \frac{L}{L_0} \quad (7)$$

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию образца для испытания на растяжения и оснастки для его крепления, выполнить их эскизы.
2. Изучить конструкцию экстензометра и клиновых захватов испытательной машины.
3. Установить образец в оснастку для крепления образца и далее в клиновые захваты испытательной машины.
4. Установить экстензометр на образец.
5. Изучить метод испытания на растяжение.
6. Выполнить испытание.
7. Снять экстензометр с образца.
8. Извлечь образец из оснастки для крепления.
9. Определить условный предел текучести.
10. Определить максимальное относительное удлинение.
11. Построить кривую упрочнения, рассчитанную по испытаниям на растяжение, в одних осях с кривой упрочнения, полученной при помощи испытаний на сжатие.
12. Проанализировать полученные результаты.

Содержание отчета

В отчете приводятся цель и задачи работы, краткие теоретические сведения, последовательность проведения работы, необходимые зависимости.

В описании экспериментальной части работы следует привести все необходимые эскизы, расчеты и графики в соответствии с порядком выполнения работы.

Отчет должен заканчиваться ответами на контрольные вопросы и самостоятельными выводами по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Чем различаются абсолютные, относительные и истинные деформации? Чем отличаются условные напряжения от истинных?
2. Чем различаются предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести и предел прочности?
3. Каковы основные преимущества и недостатки испытаний на растяжение?
4. Для чего применяется экстензометр? Почему нельзя использовать датчик перемещения испытательной машины?
5. Чем различается характер разрушения пластичных и хрупких материалов при растяжении?