

# **16 Випробування матеріалів на розтяг і стиск, діаграма розтягу маловуглецевої сталі**

(тема 2.2)

## **План**

1. Діаграма розтягу мало вуглецевої сталі.
2. Основні границі діаграми

Під час проектування й розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість елементів механізмів, машин та споруд треба знати властивості матеріалів. Тому матеріали випробовують на розтягання, стискання, зсув, кручення, згинання та твердість. Одним із основних видів випробувань матеріалів є випробовування на розтягання, оскільки при цьому виявляються найважливіші їхні властивості. З випробуваного матеріалу виготовляють спеціальні зразки. Найчастіше їх роблять циліндричними (рис. 12.5, *а*); з листового металу, як правило, виготовляють плоскі зразки (рис. 12.5, *б*). У циліндричних зразках має витримуватися співвідношення між розрахунковою довжиною зразка  $l_0$  та діаметром  $d_0$ : у довгих зразків  $l_0 = 10 \cdot d_0$ , у коротких —  $l_0 = 5 \cdot d_0$ . Ці співвідношення можна вира-

зити в дещо іншій формі. Враховуючи, що  $d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_0}{\pi}} \approx 1,13 \cdot \sqrt{F_0}$ , (12.19)

де  $F_0$  — площа поперечного перерізу зразка, маємо:

для довгого зразка —  $l_0 \approx 11,3 \cdot \sqrt{F_0}$ , (12.20)

для короткого —  $l_0 \approx 5,65 \cdot \sqrt{F_0}$ , (12.21)

Щоб дотриматися подібності при випробуваннях, ці співвідношення мають поширюватися і на плоскі зразки. Як основні використовують зразки з діаметром  $d_0 = 10 \text{ мм}$ ; при цьому робоча довжина  $l_0 = 100 \text{ мм}$ . Допускається застосування зразків інших діаметрів за умови, що їхня робоча довжина  $l_0 = 10 \cdot d_0$  або  $l_0 = 5 \cdot d_0$ . Такі зразки називають пропорційними.

Для випробувань на розтягання застосовують розривні машини, що дають змогу в процесі випробування визначити зусилля та відповідні до них деформації зразка. За цими даними будують початкову діаграму розтягання, в якій по осі ординат відкладають зусилля, а по осі абсцис — відповідні до них подовження. Діаграму розтягання можна зняти й автоматично за допомогою спеціальних діаграмних апаратів. Характер діаграми розтягання залежить від властивостей випробуваного матеріалу. Типовий вигляд такої діаграми для м'якої сталі зображено на рис. 12.6.

Виділимо характерні ділянки й точки діаграми розтягання, а також відповідні до них стадії деформування зразка. Від початку навантажування до певного значення розтягальної сили має місце прямо пропорційна залежність між подовженням зразка та силою. Ця залежність на діаграмі визначається прямою *ОА*. На цій стадії розтягання справедливий закон Гука. Позначимо силу, за якої закон пропорційності припиняє свою дію, через  $P_{\text{пц}}$ . Цьому значенню сили на діаграмі відповідає точка *А*. Напруження, спричинене силою  $P_{\text{пц}}$ , називається границею пропорційності й обчислюється за формулою:

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}. \quad (12.22)$$

Отже, границею пропорційності називається напруження, після якого порушується закон Гука.

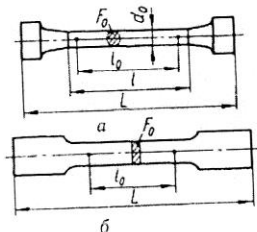


Рис. 12.5.

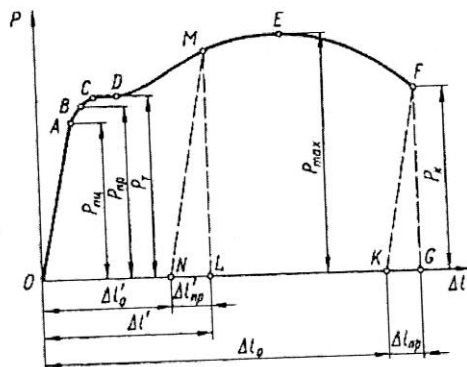


Рис. 12.6.

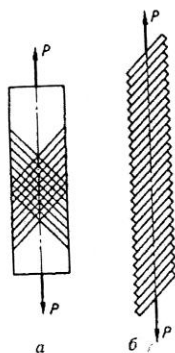


Рис. 12.7.

Деформація називається пружною, якщо вона повністю зникає після розвантаження. Припустимо, що поступово підвищуємо навантаження  $P$ , при кожному його значенні здійснюватимемо повне розвантаження зразка. Доки сила  $P$  не досягне певного значення, доти спричинені нею деформації зникатимуть при розвантаженні. Процес розвантажування при цьому зобразиться тією самою лінією, що й навантажування.

Позначимо через  $P_{np}$  найбільше значення сили, при якому зразок ще не дає при розвантаженні залишкової деформації. Цьому значенню на діаграмі відповідає точка  $B$ , а пружній стадії розтягання зразка — ділянка  $OB$ . Границею пружності називається найбільше напруження, до якого залишкова деформація при розвантаженні не виявляється. Це напруження спричинюється силою

$$P_{np} \text{ і визначається за формулою: } \sigma_{np} = \frac{P_{np}}{F_0}. \quad (12.23)$$

Границя пружності є характеристикою, не пов'язаною з законом Гука. Точка  $B$  може бути як вище, так і нижче від точки  $A$ . Ці точки, а отже, і значення напружень  $\sigma_{ни}$  та  $\sigma_{np}$  близькі одна до одної, і, як правило, різницею між ними нехтують. Після точки  $A$  при дальшому розтяганні зразка крива розтягання стає криволінійною і плавно піднімається до точки  $C$ , де спостерігається перехід до горизонтальної ділянки  $CD$ , що називається площадкою текучості. На цій стадії розтягання подовження зразка зростає при сталому значенні розтягальної сили, яку позначають  $P_T$ . Такий процес деформації, що його називають текучістю матеріалу, супроводжується залишковим (пластичним) подовженням, яке не зникає після розвантаження.

Границею текучості  $\sigma_T$  називається найменше напруження, при якому деформація зразка відбувається при постійному розтягальному зусиллі. Границя текучості визначається за формулою:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}. \quad (12.24)$$

Початок пластичної деформації відповідає настанню деякого критичного стану металу, який можна виявити не тільки за залишковими деформаціями, а й за іншими ознаками. При пластичній деформації підвищується температура зразка; у сталі змінюються електропровідність та магнітні властивості. При цьому на полірованій поверхні зразків, особливо плоских, помітне потьмяніння, що є наслідком появи густої сітки ліній. Ці лінії мають назву ліній Чернова (ліній Людерса). Вони нахилені до осі зразка приблизно під кутом  $45^\circ$  (рис. 12.7, а) і становлять мікроскопічні нерівності, що виникають внаслідок зсувів у тих

площинах кристалів, де діють найбільші дотичні напруження. Внаслідок зсувів по похилих площинах зразок зазнає залишкових деформацій. Механізм утворення їх спрощено зображено на рис. 12.7, б.

Після стадії текучості матеріал знову набуває здатності збільшувати опір подальшому деформуванню і сприймає зусилля, що зростає до деякої границі. Цьому відповідає висхідна ділянка **DE** (див. рис. 12.6) кривої розтягання, що звється ділянкою зміцнення. Точка **E** відповідає найбільшому зусиллю  $P_{\max}$ , яке може сприймати зразок. Напруження, що відповідає максимальній силі  $P_{\max}$ , називається тимчасовим опором або границею міцності і позначається

$$\sigma_B. \text{ Його визначають за формулою: } \sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}. \quad (12.25)$$

До цього моменту подовження розподілялися рівномірно по всій довжині  $l_0$  зразка; площі поперечних перерізів розрахункової частини зразка змінювалися неістотно і також рівномірно по всій довжині. Тому для обчислення  $\sigma_{nc}$ ,  $\sigma_{np}$ ,  $\sigma_T$  та  $\sigma_B$  у розрахункові формули вводилися початкові значення площі  $F_0$ .

Після досягнення зусилля  $P_{\max}$  при подальшому розтяганні зразка деформація відбувається в основному на невеликій довжині зразка. Це призводить до утворення місцевого звуження у вигляді шийки і до зменшення сили  $P$ , незважаючи на те що напруження у перерізі шийки неперервно зростає. Зменшення розтягальної сили  $P$  спостерігається лише при випробуванні зразка у машині, яка обмежує швидкість зростання деформації. При навантажуванні через підвішування вантажів руйнування відбудеться при постійному навантаженні, проте із всезростаючою швидкістю деформації. Позначивши через  $P_{кр}$  розтягальну

силу в момент розриву, матимемо:  $\sigma_{кр} = \frac{P_{кр}}{F_0}. \quad (12.26)$

Визначене таким чином напруження при розриві зразка надто умовне і не може бути використане як характеристика механічних властивостей сталі. Умовність полягає в тому, що його здобуто діленням сили в момент розриву на початкову площу поперечного перерізу зразка, а не на дійсну його площу при розриві, яка значно менша, ніж початкова, внаслідок утворення шийки.

Основними характеристиками пружності та міцності матеріалів, що використовуються у практичних розрахунках, є границя пружності  $\sigma_{np}$ , границя текучості  $\sigma_T$  та тимчасовий опір (границя міцності)  $\sigma_B$ . Для маловуглецевої сталі, що має площадку текучості, наприклад для Ст2, ці характеристики такі:  $\sigma_{np} = 200 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_T = 220 \div 260 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_B = 340 \div 420 \text{ МПа}$ .

Для металів, що не мають площадки текучості, границю текучості визначають умовно як напруження, при якому залишкова деформація є величиною, регламентованою стандартами або технічними умовами. Згідно з ГОСТ 1497–84, залишкова деформація становить 0,2 % від вимірюваної довжини зразка. Умовні границі текучості позначають нижнім індексом відповідно до заданого значення деформації, наприклад  $\sigma_{0,2}$ . Ураховуючи, що практично важко встановити початок відхилення від закону пропорційності й початок появи перших залишкових деформацій, вводять також поняття умовних границі пропорційності та границі пружності. Умовною границею пропорційності називають найменше напруження, при якому відхилення від лінійної залежності між напруженням та деформацією досягає деякого значення, що встановлюється технічними умовами (наприклад, 0,002 % від вимірюваної довжини зразка).

## Питання для самоконтролю

1. Охарактеризувати основні границі
  - а) пропорційності
  - б) потужності
  - в) міцності
  - г) текучості