

Основні властивості металів

Закінчивши вивчення цього навчального елемента, студент вмітиме:

1. назначити способи виготовлення металевих виробів в залежності від властивостей металів;
2. робити висновки про придатність тих чи інших металів і сплавів для виготовлення деталей.

Прикладна наука, що вивчає у взаємозв'язку склад, будову та властивості металів і сплавів, встановлює залежність будови і властивостей від методів виробництва та обробки металів і сплавів, а також зміну їх під впливом механічних, термічних та інших зовнішніх дій на метали називається металознавство.

Властивість (*property, quality*) – це сукупність характеристик металів і сплавів від яких залежить придатність виготовлення деталей та конструкцій. Одні з них легкі (магній, алюміній, титан), інші важкі (свинець). Олово, свинець - метали, які легко плавляться, а для розплаву заліза або платини необхідно витратити багато енергії. Міцність є одним з головних факторів при виробленні металу для виготовлення деталей, але не всі однаково міцні. Розрізняють фізичні, хімічні, механічні та технологічні властивості металів:



А) Фізичні властивості металів проявляються при дії фізичних явищ, які діючи на метал, не змінюють його складу. Наприклад, при нагріванні метал розплавляється, але його склад залишається попереднім.

Густина (solidity, strength) – величина, яка дорівнює відношенню маси металу до займаного ним об'єму. Наприклад, густина заліза дорівнює 7800 кг/м³, алюмінію 2700 кг/м³, свинцю 11300 кг/м³.



Кольором називається здатність металів відбивати світлові промені, що на них попадають. Промені світла, відбиті від різних металів, діють на органи зору по-різному, що створює відчуття того чи іншого кольору. Наприклад, мідь має рожево-червоний колір, алюміній – білий.

Теплопровідністю (heat/thermal conductivity) називають здатність металів проводити тепло. Чим більша теплопровідність, тим швидше тепло поширюється по металу при його нагріванні і віддається ним при охолодженні. Високу теплопровідність мають мідь та алюміній. Залізо, сталь, чавун проводять тепло в 4-6 разів гірше, ніж мідь.

Теплоємність (thermal/heat capacity) визначає кількість тепла, необхідного для нагрівання металу на 10. Низьку теплоємність мають платина і свинець. Теплоємність сталі і чавуну майже в 4 рази вище теплоємності свинцю.

Плавлення (melting) – це процес переходу металу з твердого стану в рідкий. Метали із високою температурою плавлення вважають тугоплавкими (вольфрам, хром, платина), а метали з низькою температурою плавлення належать до легкоплавких (олово, свинець). Наприклад, температура плавлення заліза-15390, міді-1083, олова-2319, вуглецевої сталі - 1420-1520 0С.

Теплове (термічне) розширення означає здатність металу, що нагрівається, збільшувати свої розміри.

Електропровідністю називають здатність металу проводити електричний струм. Хорошими провідниками струму є срібло, мідь, алюміній. Деякі метали і сплави (ніхром) чинять електричному струму великий опір.

Б) Хімічні властивості. Це – здатність металів і сплавів взаємодіяти з навколишнім середовищем, вступати в хімічні сполучення, розчинятися, кородувати, чинити опір дії агресивних середовищ. Найбільш важливі з них – це окислення на повітрі, кислотостійкість, лугостійкість, жароміцність.



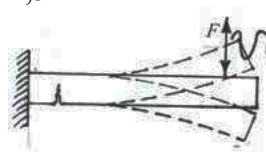
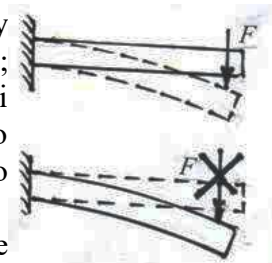
В) Механічні властивості пов'язані з поняттям про навантаження, деформацію та напруження. Від механічних властивостей металу залежить його поведінка при деформації і руйнуванні під дією зовнішніх сил конструкцій чи деталей.

Цим властивостям буде детально розглянуто далі, бо саме їм приділена основна увага в цьому розділі.

Міцність (durability) – це властивість металів, не руйнуючись, чинити опір дії прикладених зовнішніх сил. Міцність металів характеризується умовною величиною – межею міцності. Межею міцності є навантаження, яке прикладене до зразка в момент розриву, віднесене до площі поперечного перерізу зразка:



Пружність (resilience) - здатність металів змінювати свою форму під дією зовнішніх сил і відновлювати її після припинення дії цих сил; Відношення навантаження, при якому зразок починає мати залишкові подовження, до площини його поперечного перерізу називається межею пружності. Наприклад, межа пружності сталі до 300; міді 25; свинцю 2,5МПа.



Пластичність (plasticity) - здатність металів, не руйнуючись, змінювати під дією зовнішніх сил свою форму, після припинення дії сил. Сталь у значній мірі пластична, а при нагріванні її пластичність зростає. Цю властивість використовують при одержанні виробів шляхом прокату та кування.

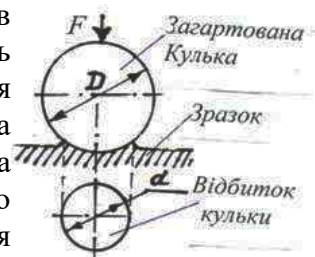
Втомлюваність (tiredness) – зміна механічних і фізичних властивостей матеріалів під дією сил, циклічно змінюються під час напружень та деформацій. В умовах дії таких навантажень в працюючих деталях утворюються і розвиваються тріщини, які приводять до повного руйнування деталей. Подібні руйнування небезпечні тим, що можуть проходити під дією напруг значно менших границь міцності і текучості.

Крихкість (fragile) – властивість металу руйнуватись відразу після дії прикладених до нього сил, не показуючи жодних ознак деформації (чавун).

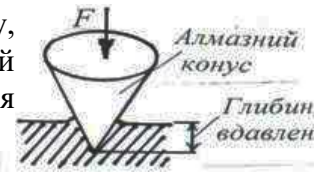


Твердість (hardness) – здатність металу чинити опір вдавненню в нього іншого, більш твердого матеріалу. Чавун і сталь мають високу твердість, свинець – низьку. Для перевірки твердості металів існує три методи випробування, названих за іменами їх винахідників - Бринеля, Роквелла, Віккерса:

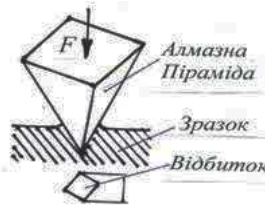
- випробування за способом Бринеля полягає в тому, що в поверхню зразка металу, під певним навантаженням, вдавлюють сталеву загартовану кульку діаметром 2,5; 5,0; 10 мм. Після вдавлювання зразка на поверхні лишається відбиток кульки. За допомогою спеціального мікроскопа вимірюється діаметр відбитка, а відтак визначається число твердості НВ: відношення прикладеного до кульки навантаження до площини поверхні відбитка називається числом твердості за Бринелем НВ. Числа твердості за Бринелем НВ для вуглецевої сталі – 1300-2800, міді – 300. свинець – 30-80 МПа,



- випробування зразка за способом Роквела (HR) полягає у тому, що за допомогою преса в поверхню зразка вдавлюють алмазний конус з кутом при вершині 120°. Твердість визначається глибиною вдавнення конуса,

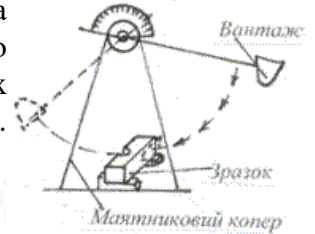


- випробування за способом Віккерса (HV) застосовують для вимірювання твердості на термічно оброблених металах. В зразок металу за вдавлюють правильну чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині 136°.



невеликих ділянках допомогою преса піраміду з кутом при

Ударна в'язкість – здатність металів не руйнуватись при дії на них ударних навантажень. Ударна в'язкість визначається за допомогою маятничового копра. Зразок стандартної форми встановлюють в опорах і руйнують падаючим з висоти вантажем.



Г) Технологічні

властивості визначають здатність металів отримувати ту чи іншу обробку. До властивостей металів належать: обробка рідкотекучістю, усадка, зварюваність.

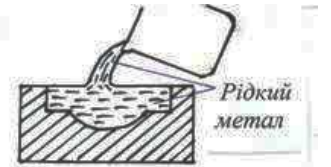
Ковкістю (*malleable*) називається руйнуючись, приймати потрібну форму під сталю у нагрітому стані має хорошу ковкість.



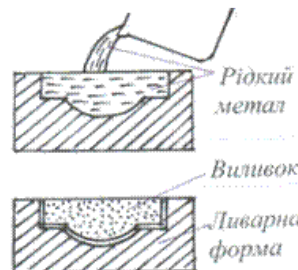
технологічних різанням, ковкістю,

здатність металів, не дією зовнішніх сил.

Рідко текучістю (*seldom-fluidity*) називається здатність розплавлених металів заповнювати ливарні форми. Високу рідкотекучість має сірий чавун, низьку – мідь.



Усадкою (*shrinkage*) називається здатність розплавлених металів зменшувати охолодженні. Ця властивість має значення в Моделі виливків виготовляють з урахуванням розмірів ніж розміри виливка. Крім того, утворення тріщин у виливках. Найменшу чавун, цинкові і алюмінієві сплави.



свій об'єм при ливарній справі. усадки, тобто більших усадка призводить до усадки мають сірий

Обробка різанням – це здатність металів піддаватися дії різальних інструментів. Зважаючи на меншу твердість, деякі кольорові метали легше обробляти різанням, ніж чорні



Зварюваністю називається здатність металів міцно з'єднуватися шляхом з'єднання. Добре зварюються сталі з низьким Чавун і сплави кольорових металів складніше.



розплавлення місця вмістом вуглецю. зварюються значно

Механічні властивості металів:

Міцність – здатність металів опиратися появі залишкових деформацій та руйнуванню під дією зовнішніх сил.

Показники міцності:

σ_B , МПа (МН/м²) – **межа міцності** – напруження, що відповідає найбільшому навантаженню, при якому зразок не руйнується;

σ_T , МПа – **межа текучості** – найменше напруження, при якому зразок деформується без помітного збільшення навантаження.

Пружність – здатність металів відновлювати свою форму після припинення дії зовнішніх сил, що спричинили зміну форми.

Показники пружності:

$\sigma_{пр}$ ($\sigma_{0,05}$) – **межа пружності**, МПа;

E – **модуль пружності**, МПа.

Пластичність – здатність металу деформуватися без руйнування під дією зовнішніх сил та зберігати нову форму після припинення дії сил.

Показники пластичності:

δ , % – **відносне видовження** ;

ψ , % – **відносне звуження** .

Твердість – здатність металу чинити опір проникненню в нього іншого твердішого тіла.

Показники твердості:

число твердості HB – за **Брінеллем** ,

HRA, HRB, HRC – за **Роквеллом** ,

HV – за **Віккерсом** .

В'язкість – здатність матеріалу поглинати механічну енергію за динамічних навантажень за рахунок пластичної деформації.

Показник в'язкості – ударна в'язкість KCU, KCV, KCT, Дж/м²

Втомленість – процес поступового накопичення пошкоджень, що призводять до зміни властивостей, утворення тріщин та руйнування зразка під дією циклічних навантажень.

Методи випробування механічних властивостей металів

Механічні властивості металів (міцність, пружність, пластичність, в'язкість), як і інші властивості, є вихідними даними при проектуванні та створенні різних машин, механізмів і споруд.

Методи визначення механічних властивостей металів поділяють на такі групи:

- статичні, коли навантаження зростає повільно і плавно (випробування на розтяг, стиск, згин, крутіння, твердість);
- динамічні, коли навантаження зростає з великою швидкістю (випробування на ударний згин);
- циклічні, коли навантаження багаторазово змінюється (випробування на втому);
- технологічні — для оцінки поведінки металу при обробці тиском (випробування на згин, перегин, видавлювання).

Випробування на розтяг (ГОСТ 1497—84) проводяться на стандартних зразках круглого або прямокутного перерізу. При розтязі зразок деформується під дією навантаження, яке плавно зростає до моменту його розривання. Під час випробування зразка знімають діаграму розтягу (рис. 1, а), яка фіксує залежність між силою P, що діє на зразок, і викликаною нею деформацією Δl (Δl — абсолютне видовження).

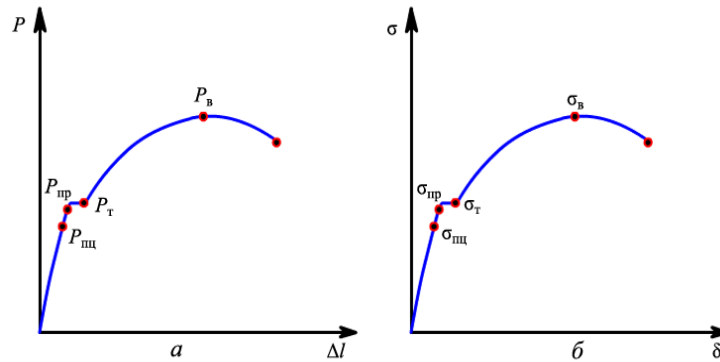


Рис. 1. Діаграма розтягу низьковуглецевої сталі (а) і залежність між напруженням і відносним видовженням (б)

В'язкість (внутрішнє тертя) — здатність металу поглинати енергію зовнішніх сил при пластичній деформації і руйнуванні (визначають величиною дотичної сили, прикладеної до одиниці площі шару металу, який підлягає зсуву).

Пластичність — здатність твердих тіл необернено деформуватися під дією зовнішніх сил.

При випробуванні на розтяг визначають:

- σ_b — границю міцності, МН/м² (кг/мм²):

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0},$$

де P_b — найбільше навантаження; F_0 — початкова площа перерізу зразка;

- $\sigma_{пц}$ — границю пропорційності, МН/м² (кг/мм²):

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0},$$

де $P_{пц}$ — навантаження, що відповідає границі пропорційності;

- $\sigma_{пр}$ — границю пружності, МН/м² (кг/мм²):

$$\sigma_{пр} = \frac{P_{пр}}{F_0},$$

де $P_{пр}$ — навантаження, що відповідає границі пружності (при $\sigma_{пр}$ залишкова деформація відповідає 0,05—0,005 % початкової довжини);

- σ_m — границю плинності, МН/м² (кг/мм²):

$$\sigma_m = \frac{P_m}{F_0},$$

де P_m — навантаження, що відповідає границі плинності, Н;

δ — відносне видовження, %,

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

де l_0 — довжина зразка до розривання, м; l_1 — довжина зразка після розривання, м;

ψ — відносне звуження, %:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0},$$

де F_0 — площа перерізу до розривання, м²; F_1 — площа перерізу після розривання, м².

Випробування на твердість. Твердість — це опір матеріалу проникненню в нього іншого, твердішого тіла. З усіх видів механічного випробування визначення твердості є найпоширенішим.

Випробовування за Брінеллем (ГОСТ 9012—83) проводяться шляхом вдавлювання в метал сталеві кульки. У результаті на поверхні металу утворюється сферичний відбиток (рис. 2, а). Твердість за Брінеллем визначається за формулою

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} 10^{-6}, \text{ МПа},$$

де P — навантаження на метал, Н; D — діаметр кульки, м; d — діаметр відбитка, м. Чим твердіший метал, тим менша площа відбитка.

Діаметр кульки і навантаження встановлюють залежно від металу, який досліджують, його твердості та товщини. При випробуванні сталі та чавуну вибирають $D = 10$ мм і $P = 30$ кН (3000 кгс), при випробуванні міді та її сплавів $D = 10$ мм і $P = 10$ кН (1000 кгс), а при випробуванні дуже м'яких металів (Al, бабітів та ін.) $D = 10$ мм і $P = 2,5$ кН (250 кгс). При випробуванні зразків товщиною менше 6 мм вибирають кульки з меншим діаметром — 5 і 2,5 мм. На практиці користуються таблицею переведення площі відбитка у число твердості.

Метод Брінелля не рекомендовано застосовувати для металів твердістю понад $H 450$ (4500 МПа), оскільки кулька може деформуватися, що спотворить результати випробувань.

Випробування за Роквеллом (ГОСТ 9013—83). Здійснюють шляхом вдавлювання в метал алмазного конуса ($\alpha = 120^\circ$) або сталеві кульки ($D = 1,588$ мм або $1/16''$, рис. 2, б). Прилад Роквелла має три шкали — В, С і А. Алмазний конус застосовують для випробування твердих матеріалів (шкали С і А), а кульку — для випробування м'яких матеріалів (шкала В). Конус і кульку вдавлюють двома послідовними навантаженнями: попереднє P_0 і загальне P :

$$P = P_0 + P_1,$$

де P_1 — основне навантаження.

Попереднє навантаження $P_0 = 100$ Н (10 кгс). Основне навантаження складає 900 Н (90 кгс) для шкали В; 1400 Н (140 кгс) для шкали С і 500 Н (50 кгс) для шкали А.

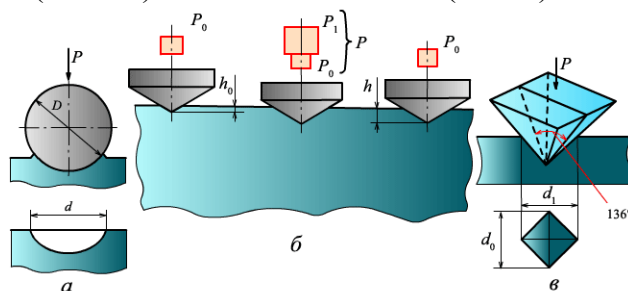


Рис. 2. Схема визначення твердості:

а — за Брінеллем; б — за Роквеллом; в — за Віккерсом

Твердість за Роквеллом вимірюють в умовних одиницях. За одиницю твердості приймають величину, що відповідає осьовому переміщенню наконечника на відстань 0,002 мм. Твердість за Роквеллом обчислюють у такий спосіб:

$$HR = 100 - e \text{ (шкали А і С); } HR = 130 - e \text{ (шкала В).}$$

Величину e визначають за формулою:

$$e = \frac{h - h_0}{0,002},$$

де h — глибина проникнення в метал наконечника під дією загального навантаження P ($P = P_0 + P_1$); h_0 — глибина проникнення наконечника під дією попереднього навантаження P_0 .

Залежно від шкали твердість за Роквеллом позначають HRB , HRC , HRA .

Випробування за Віккерсом (ГОСТ 2999—83). В основу методу покладено вдавлювання в поверхню (шліфовану чи навіть поліровану), що підлягає випробуванню, чотиригранної алмазної піраміди ($\alpha = 136^\circ$) (рис. 2, в). Метод використовують для визначення твердості деталей малої товщини і тонких поверхневих шарів, які мають високу твердість.

Твердість за Віккерсом:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} 10^{-6}, \text{ МПа},$$

де P — навантаження на піраміду, Н; d — середнє арифметичне двох діагоналей відбитка, виміряних після зняття навантаження, м.

Число твердості за Віккерсом визначають за спеціальними таблицями по діагоналі відбитка d . При вимірюванні твердості застосовують навантаження від 10 до 500 Н.

Мікротвердість (ГОСТ 9450—84). Принцип визначення мікротвердості такий самий, що і за Віккерсом, згідно зі співвідношенням:

$$H = 1,854 \frac{P}{d^2} 10^{-6}$$

Метод застосовують для визначення мікротвердості виробів дрібних розмірів і окремих складових сплавів. Прилад для вимірювання мікротвердості — це механізм вдавлювання алмазної піраміди та металографічний мікроскоп. Зразки для вимірювань мають бути підготовані так само ретельно, як мікрошліфи.

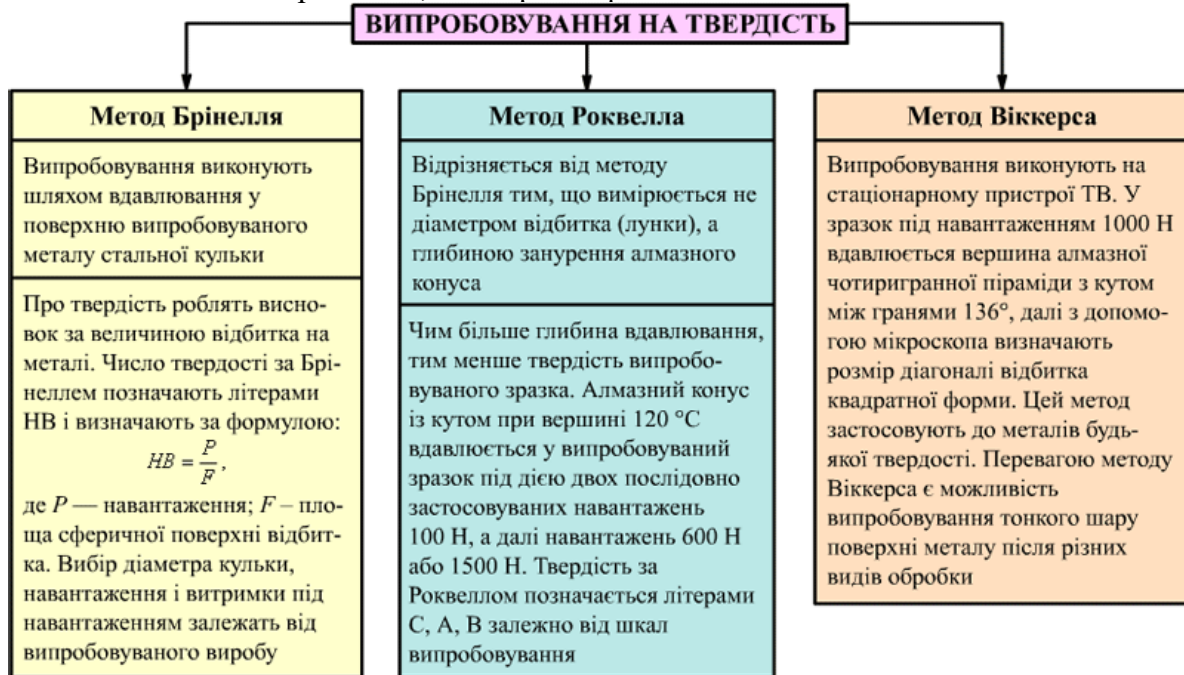


Рис. 3. Випробовування на твердість

Випробовування на ударну в'язкість.

Для випробовування на удар виготовляють спеціальні зразки з надрізом, які потім руйнують на маятниковому копрі (рис. 4). Загальний запас енергії маятника витратиться на руйнування зразка і на підйом маятника після його руйнування. Тому якщо із загального запасу енергії маятника вилучити частину, яка припадає на підйом (зліт) після руйнування зразка, дістанемо роботу руйнування зразка:

$$K = P(h_1 - h_2)$$

або

$$K = Pl(\cos \beta - \cos \alpha), \text{ Дж (кг}\cdot\text{м)},$$

де P — маса маятника, Н (кг); h_1 — висота підйому центра маси маятника до удару, м; h_2 — висота зльоту маятника після удару, м; l — довжина маятника, м; α, β — кути підйому маятника відповідно до руйнування зразка і після нього.

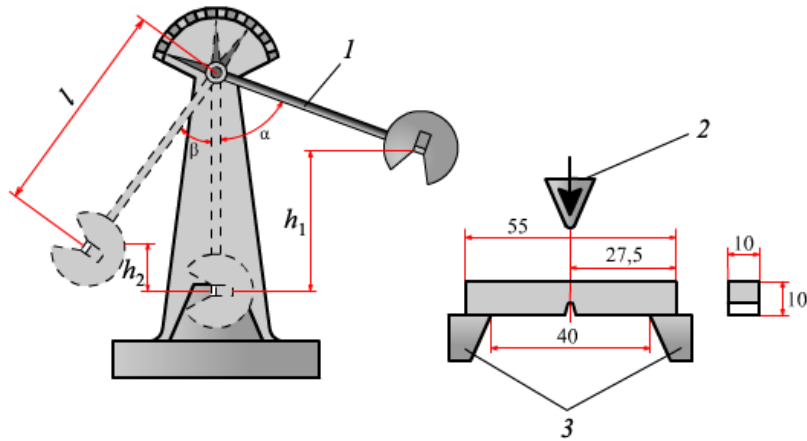


Рис. 4. Випробовування на ударну в'язкість:
1 — маятник; 2 — ніж маятника; 3 — опори

Ударну в'язкість, тобто роботу, витрачену на руйнування зразка і віднесену до поперечного перерізу зразка у місці надрізу, визначають за формулою:

$$K_C = \frac{K}{F}, \text{ МДж/м}^2 \text{ (кг} \cdot \text{м/см}^2\text{)},$$

де F — площа поперечного перерізу в місці надрізу зразка, м^2 (см^2).

Для визначення K_C користуються спеціальними таблицями, в яких для кожного кута β зазначена величина роботи удару K . При цьому $F = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Для позначення ударної в'язкості додають і третю букву, що вказує на вид надрізу на зразку: U , V , T . Запис $K_C U$ означає ударну в'язкість зразка з U -подібним надрізом, $K_C V$ — з V -подібним надрізом, а $K_C T$ — із тріщиною (рис. 5).

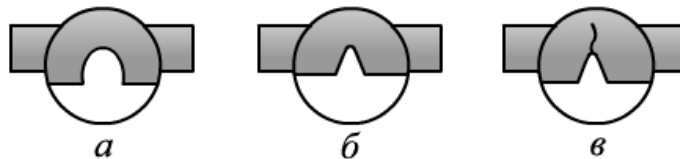


Рис. 5. Види надрізів на зразках для випробування на ударну в'язкість:

a — U -подібний надріз ($K_C U$); b — V -подібний надріз ($K_C V$); c — надріз із тріщиною ($K_C T$)

Випробування на утомлюваність (ГОСТ 2860—84). Руйнування металу під дією повторних або знакозмінних напружень називають *утомлюваністю металу*. При руйнуванні металу внаслідок втоми на повітрі злом складається з двох зон: перша зона має гладку притерту поверхню (зона втоми), друга — зона долому, в крихких металів вона має грубокристалічну будову, а у в'язких — волокнисту.

При випробуванні на втому визначають границю втоми (витривалості), тобто те найбільше напруження, яке може витримати метал (зразок) без руйнування задане число циклів. Найпоширенішим методом випробування на втому є випробування на згин при обертанні (рис. 6).

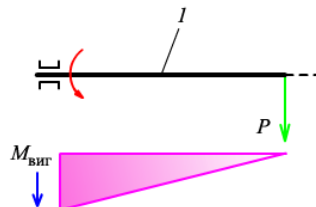


Рис. 6. Схема випробування на згин при обертанні:

l — зразок; P — навантаження; $M_{\text{виг}}$ — вигинаючий момент

Застосовують такі основні види технологічних випробувань (проб).

Проба на згин (рис. 7) у холодному та гарячому станах — для визначення здатності металу витримувати заданий загин; розміри зразків — довжина $l = 5a + 150$ мм, ширина $b = 2a$ (але не менш ніж 10 мм), де a — товщина матеріалу.

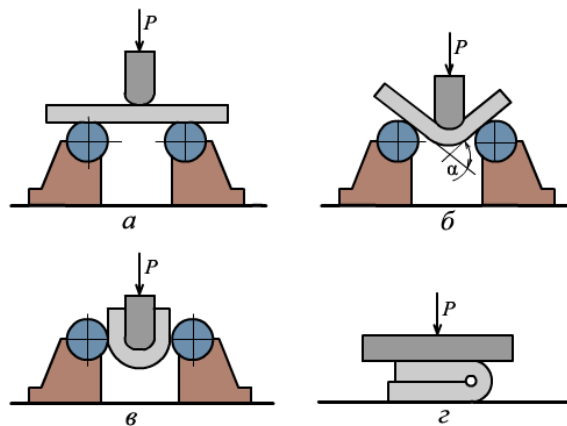


Рис. 7. Технологічна проба на згин:

a — зразок до випробовування; *б* — загин до певного кута; *в* — загин до паралельності сторін; *г* — загин до стикання сторін

Проба на перегин передбачає оцінку здатності металу витримувати повторний згин і застосовується для дроту та прутків діаметром 0,8—7 мм зі смугового та листового матеріалу товщиною до 55 мм. Зразки згинають перемінно праворуч та ліворуч на 90° з рівномірною — близько 60 перегинів за хвилину — швидкістю до руйнування зразка.

Проба на видавлювання (рис. 8) — для визначення здатності металу до холодного штампування та витягання тонкого листового матеріалу. Полягає у продавлюванні пуансоном листового матеріалу, затиснутого між матрицею та затискачем. Характеристикою пластичності металу є глибина видавлювання ямки, що відповідає появі першої тріщини.

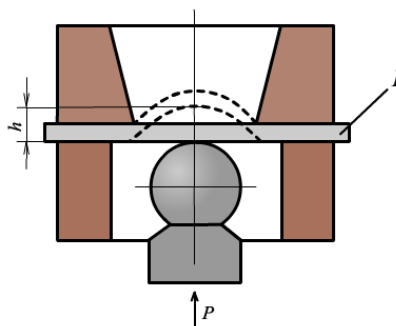


Рис. 8. Випробовування на видавлювання:

l — лист; *h* — міра здатності матеріалу до витягу

Проба на навивання дроту діаметром $d \leq 6$ мм. Випробовування полягає у навиванні 5—6 щільно прилеглих по гвинтовій лінії витків на циліндр заданого діаметра. Здійснюється тільки в холодному стані. Дріт після навивань не повинен мати пошкоджень.

Проба на іскру використовується при необхідності визначення марки сталі за відсутністю спеціального обладнання та маркування.