Механічні властивості характеризують поведінку матеріалу під дією навантажень. Навантаження бувають статичні (є незмінні або зростають повільніше, ніж процеси в металі), динамічні (зростають з великою швидкістю) і циклічні, або повторнозмінні (змінюються періодично, зазвичай за синусоїдним законом). Механічні властивості визначають експериментально, дотримуючись стандартних методик. До цих властивостей належать міцність, пластичність, твердість, ударна в'язкість, витривалість та інші.

**1. Міцність**

Міцність - це здатність матеріалу чинити опір пластичній деформації і руйнуванню під дією навантажень.

Важливою характеристикою матеріалу є границя міцності, яку визначають за результатом руйнування зразків під час статичних випробовувань на спеціальних розривних машинах. Найчастіше випробовують на розтяг, рідше на стиск, згин або закрут. У випадку розтягу стандартний зразок круглого (рідше прямокутного) перерізу навантажують двома однаковими й протилежно спрямованими силами вздовж його осі. Ці сили плавно зростають доти, поки зразок не зруйнується. Найчастіше використовують довгі зразки, в яких *l*/*d*=10, або *l*= 11,3 ,рідше - короткі, в яких *l*/*d*= 5 або *l*= 5,65 (де *l* - початкова розрахункова довжина і *d* - початковий діаметр зразка; - початкова площа поперечного перерізу зразка). Перед випробовуванням на зразок наносять позначки, якими позначають величину *l*, потім вимірюють *l* і *d*.

Розривна машина має самопис, що рисує діаграму в координатах: сила розтягу F - абсолютне видовження зразка ∆*l* (рис. 14.1). Прямолінійна ділянка ОА діаграми відповідає пружній деформації зразка, яка зникає під час зняття сили F. Зростання сили до F спричинює появу пластичних деформацій. Це виразно позначається на горизонтальній ділянці АВ діаграми, и межах якої деформація істотно збільшується без помітного зростання сили розтягу. За числовим значенням сили F, що відповідає горизонтальній ділянці діаграми, розраховують ***фізичну границю текучості матеріалу*** σ як відношення сили F, при якій зразок деформується без помітного зростання сили, до початкової площі поперечного перерізу зразка:

* σ = (14.1)

Більшість металів і сплавів не мають явно вираженої горизонтальної ділянки текучості. Для них визначають ***умовну границю*** ***текучості*** як відношення сили F, що відповідає залишковому видовженню зразка ∆*l* = 0,002*l*до початкової його площі поперечного перерізу :

* σ = (14.2)



Рисунок 14.1 - Діаграма розтягу низьковуглецевої сталі:

* F - осьова сила розтягу
* ∆*l* - абсолютне видовження зразка

В момент руйнування:

* ∆*l*пр - пружне видовження зразка
* ∆*l*зал - залишкове видовження зразка

Подальше збільшення сили F зумовлює зростання пластичної деформації, рівномірної по робочій довжині зразка. В точці С, що відповідає силі F, починається локалізація пластичної деформації в найслабшому місці зразка. Це призводить до утворення шийки. Точка D діаграми відповідає руйнуванню зразка.

Границя міцності матеріалу на розтяг *σ* це відношення найбільшої сили F, яку витримує зразок перед руйнуванням, до початкової площі його поперечного перерізу :

* σ = (14.3)

Зі зменшенням діаметра в зоні шийки сила F поступово зменшується, починаючи з точки С.

**2. Пластичність**

Пластичність це здатність металу пластично деформуватися. Пластичність характеризується величинами відносного видовження і відносного звуження.

Відносне видовження після розриву *δ* - це відношення залишкового видовження зразка після руйнування ∆*l* до його початкової розрахункової довжини , виражене у відсотках:

* (14.4)
* - кінцева розрахункова довжина зразка, виміряна після руйнування.

Відносне звуженням зразка після розривуψ це відношення зменшення площі поперечного перерізу зразка після руйнування до початкової площі поперечного перерізу зразка , виражене у відсотках:

* (14.5)
* - площа поперечного перерізу зразка, виміряна після руйнування.

Відносне звуження точніше відображає пластичні властивості металу, ніж відносне видовження.

**3. Твердість**

**Твердість** це здатність металу чинити опір проникненню в нього іншого твердішого тіла, яке пластично не деформується.

Визначення твердості за Брінеллем. Суть методу зводиться до втискання у випробовуваний матеріал сталевої загартованої кульки діаметром D (рис. 14.2), на яку діє сила F протягом певного часу, достатнього для закінчення в металі пластичних деформацій. Кулька проникає у метал на деяку глибину, залишаючи на поверхні відбиток. Отже, визначення твердості за Брінеллем передбачає вимірювання розміру отриманого відбитка та деяких обчислень.



Рисунок 14.2 - Схема випробовування при визначенні твердості за Брінеллем:

* 1 - зразок;
* 2 - кулька;
* F - сила, що діє на кульку;
* D - діаметр кульки;
* d - діаметр відбитка

***Твердість за Брінеллем НВ*** - це відношення діючої на кульку сили F (Н) до площі поверхні S (мм) отриманого відбитка:

* (14.6)

Підставляючи у формулу (9) значення S, отримуємо:

* НВ = (14.7)

Метод визначення твердості за Брінеллем не є універсальним, оскільки він не дає змоги випробовувати матеріали твердістю понад 440 й визначати твердість тонкого поверхневого шару (менше 1 мм); окрім цього на поверхні виробу залишаються відносно великі відбитки діаметром 3...6 мм, що не завжди допустимо.

Вимірювання твердості за Роквеллом є зручнішим, бо операції втискання й вимірювання виконуються з одного встановлення, тривалість їх не перевищує 1 хв. зникає необхідність замірювати діаметр відбитка, а число твердості показує стрілка приладу на шкалі індикатора. Відбитки, що залишаються, незначні і, як правило, не псують поверхні виробу.

Суть методу вимірювання твердості за Роквеллм в тому, що у випробовуваний матеріал заглиблюється індентор - алмазний конус з кутом у вершині 120° (використовується для вимірювання твердості загартованих сталей HRC з навантаженням 150 кГс або HRА з навантаженням 60 кГс) або загартована кулька із твердого сплаву діаметром 1,59 мм (вимірюється твердість тих матеріалів, як на приладі за Брінеллем: чорних незагартованих та кольорових сплавів при загальному навантаженні 100 кГс). Іноді замість алмазного використoвують твердосплавний конус. Щоб уникнути впливу мікронерівностей і складної конфігурації поверхні, до індентора послідовно прикладають дві сили - попередню і основну.

Спочатку до індентора прикладають попередню силу F (рис. 14.3, б), під дією якої він заглиблюється в метал на величину . Потім плавно додають основну силу F (рис. 14.3, в), внаслідок чого заглиблення індентора зростає до значення . Після зняття основної F залишається попередня сила F (рис. 14.3, г). Під дією пружних деформацій металу індентор дещо підніметься вгору і займе положення, що визначається розміром .



Рисунок 14.3 - Схема вимірювання твердості втисканням алмазного конуса: (а-г) і співставлення значень заглиблення зі шкалою приладу (д):

* F - попередня та F - основна сили;
* , - заглиблення індентора під дією F і F;
* *h* - сумарне заглиблення після зняття F;
* *HR* - твердість за Роквеллом

***Твердість за Роквеллом*** визначають за величиною заглиблення індентора у матеріал під дією загальної сили F+ F.

Якщо значення *h* розглядати як характеристику твердості, то воно свідчитиме, що м'які метали, для яких властива більша величина заглиблення індентора, мають вищу твердість, ніж тверді. Для уникнення цього протиріччя під час визначення твердості за Роквеллом від вибраної умовної величини заглиблення віднімають значення *h* і отримують - *h*. Оскільки твердість за Роквеллом НR прийнято виражати не в мм, а в поділках шкали індикатора, то величину - *h* ділять на ціну поділки шкали с (с = 0,002 мм):

* HR= (3.8)

При застосуванні конуса = 0,20 мм і сталевої кульки = 0,26 мм.

Визначення твердості за Віккерсом зводиться до втискання силою F (рис. 14.4) правильної чотиригранної алмазної піраміди з кутом між протилежними гранями α = 136° у матеріал. Про значення твердості свідчить значення сили F і діагоналі відбитка *d,* розмір якої вимірюють під мікроскопом.

***Твердість за Віккерсом*** НV знаходиться як відношення сили F(H), що діє на правильну чотиригранну піраміду, до площі поверхні S (мм) отриманого відбитка:

* (14.9)
* d - середнє арифметичне довжин обох діагоналей, мм;





Рисунок 14.4 - Схема випробовування на твердість за Віккерсом: 1 - зразок; 2 - алмазна піраміда; F - сила, що діє на піраміду; α - кут між протилежними гранями піраміди; *d* - діагональ відбитка

Величина F змінюється в широких межах від 0,5 до 10 кГс. Оскільки сила невелика, то розміри відбитка малі і можна визначати твердість тонких поверхневих шарів.

**4. Ударна в'язкість**

В умовах експлуатації часто виникають ударні навантаження. Щоб оцінити опір матеріалу динамічним силам, проводять випробовування на удар. Одним із видів таких випробувань є ***ударний згин***, за допомогою якого виявляють схильність матеріалів, зокрема конструкційних сталей, до крихкого руйнування внаслідок зниження температури, наявності надрізів, шкідливих домішок, зміни структурного стану, збільшення швидкості деформації та інших факторів. Під час ударного згину визначають таку механічну характеристику металу, як ударна в'язкість.

Ударна в'язкість КС (МДж/м2) це відношення роботи *К*, яка витрачається на руйнування стандартного зразка, до початкової площі його поперечного перерізу в місці руйнування, яка залежить від виду концентратора напруги (KCU, KCV, KCT):

* КС = (14.10)

Для визначення ударної в'язкості застосовують призматичні зразки з надрізами різних типів. Найпоширенішими типами є зразки з U-подібним (рис. 14.5, а) і V-подібним (рис. 14.5, б) надрізами.



Рисунок 14.5 - Зразки для випробувань на ударну в'язкість:

* а - з U-подібним надрізом;
* б - з V-подібним надрізом.

Якщо зразок з U-подібним надрізом, то до символу додається буква U (KCU), а якщо з V-подібним надрізом, то додається буква V (KCV).

Випробування на ударну в'язкість проводять на маятниковому копрі (рис. 14.6)



Рисунок 14.6 - Схема випробувань на ударну в'язкість:

* а - схема маятникового копра;
* б - розташування зразка на копрі;
* 1 - корпус;
* 2 - маятник;
* 3 - зразок

Для крихких матеріалів основна частина роботи йде на зародження тріщини, а робота розповсюдження тріщини незначна. Для пластичних матеріалів робота розповсюдження тріщини має переважаюче значення. Аналіз складових ударної в'язкості дозволяє раціональніше вибрати матеріал і визначити його призначення.

**5. Витривалість**

Здебільш деталі машин під час експлуатації навантажені *циклічними* (повторно змінними) силами. При цьому прикладене до деталі напруження змінюється протягом кожного циклу від заданих найменшого (рис. 14.7) до найбільшого значення. Якщо значення і рівні за величиною і протилежні за знаком, то цикл напружень симетричний і ***коефіцієнт асиметрії цикл****у* = -1.



Рисунок 14.7 - Зміна напружень σ під час випробування на втому:

* - мінімальне і - максимальне значення напруження циклу;
* N - кількість циклів.

В усіх інших випадках маємо справу з асиметричним циклом.

Нагромадження пошкоджень у металі під дією циклічних напружень є причиною ***втомного руйнування***. Процес втомного руйнування поділяють на дві стадії - стадію зародження і стадію росту тріщини.

Витривалість це здатність металу протистояти втомному руйнуванню. На втому випробовують серію гладких, переважно круглого перерізу, зразків або зразків круглого перерізу з надрізом.

Значно рідше застосовують зразки прямокутного перерізу. Один кінець зразка 1 (рис.14.8) закріплюють у гнізді 2 вала машини, другий - через підшипник 3 навантажують зосередженою силою F. Під час експерименту зразок обертається і сприймає знакозмінний симетричний згин. Кожен зразок випробовують при заданому найбільшому напруженні циклу і фіксують кількість циклів N до руйнування. Якщо зразок при достатньо великій заданій базовій кількості циклів не зруйнувався, то його більше не випробовують.

Рисунок 14.8 - Схема випробування на втому:

* 1 - зразок;
* 2 - гніздо вала машини;
* 3 - підшипник;
* F - сила.

За результатами випробувань будують графіки - криві втоми, або криві *Веллера* - в координатах - *lgN* (рис. 14.9). Крива втоми відображає залежність між максимальними напруженнями циклу й довготривалістю (кількістю циклів до руйнування зразка). Основний тип кривої втоми - графік з чітко вираженою горизонтальною ділянкою. Графіки такого типу властиві чорним металам і титанові. Криві втоми з асимптотичним наближенням до осі абсцис характерні для кольорових металів.

Границя витривалості (границя втоми) це таке максимальне за абсолютним значенням напруження циклу, за якого матеріал не руйнується після як завгодно великої або заданої кількості циклів навантаження. Якщо коефіцієнт асиметрії циклу =-1, то границю витривалості позначають як . Практично границю витривалості визначають на базі нормованої кількості циклів навантаження. Для сталі база випробовування N = 10 циклів, тоді як для сплавів кольорових металів -N = 10 циклів.



Рисунок 14.9 - Крива втоми в координатах :

* σ - максимальне напруження циклу; N - кількість циклів напружень;
* N - кількість циклів напружень;
* - значення максимальних напружень і N- відповідна їм кількість циклів, при яких були зруйновані зразки;
* - границя витривалості;
* - базова кількість циклів.