**Тема № 11**

**Пластична деформація, рекристалізація та механічні властивості металів і сплавів**

**1**. **Поняття про пружну та пластичну деформацію**

Деформацією називають зміну форми та розмірів тіла під дією зовнішніх сил, а також внаслідок різних фізико-механічних процесів у самому тілі, що спричинюють зміну об’єму. Вона пояснюється появою в тілі напружень, які визначаються відношенням сили до одиниці площі. Напруження, що виникають під дією зовнішніх навантажень і зникають після припинення їх дії, називають тимчасовими, а напруження, що виникають і зрівноважуються в межах тіла від внутрішніх процесів – внутрішніми.

Деформації поділяються на пружні та пластичні. Цей поділ пояснюється тривалістю їх існування: пружні зикають з припиненням дії сил, а пластичні залишаються. Це зумовлено величиною зміщення атомів від положення рівноваги: якщо воно не перевищує міжатомної відстані, то деформація пружна, якщо ж більша – деформація пластична.

**Пружною деформацією** називають деформацію, вплив якої на форму, структуру і властивості тіла зникає після припинення дії зовнішніх сил. Вона не викликає помітних залишкових змін в структурі і властивостях металу.

При зростанні дотичних напружень вищевизначеної величини деформація стає незворотньою. При знятті навантаження зникає тільки пружна складова деформації. Частину деформації, яка залишається, називають **пластичною**. При пластичній деформації незворотно змінюється структура металу та його властивості.

**2. Механізми пластичної деформації**

Пластична деформація може протікати під дією дотичних напруг і здійснюватися двома способами:

1. Ковзання по площинах – полягає в тому, що одні шари атомів кристала ковзають по інших шарах, причому вони переміщаються на дискретну величину, рівну цілому числу міжатомних відстаней.

В проміжках між смугами ковзання деформація не відбувається. Тверде тіло не змінює своєї кристалічної будови під час пластичної деформації, і розташування атомів в елементарних комірках зберігається.

Площинами ковзання є кристалографічні площини з найбільш щільною упаковкою атомів. Це найбільш характерний вид деформації при обробці тиском.

2. Двійникування – поворот однієї частини кристала в положення, симетричне іншій його частині. Площиною симетрії є площина двійникування.

Двійникування частіше виникає при пластичній деформації кристалів з об'ємноцентрованою і гексагональною решітками, причому з підвищенням швидкості деформації і пониженням температури схильність до двійникування зростає.

Двійникування може виникати не тільки в результаті дії зовнішніх сил, але і в результаті відпалу пластично деформованого тіла. Це характерний для металів з гранецентрованою кубічною решіткою (мідь, латунь). Двійникуванням можна досягти незначного ступеня деформації.

**3. Пластична деформація полікристалів, текстура деформації. Деформаційне зміцнення при пластичній деформації**

Пластична деформація полікристалічного металу протікає аналогічно деформації монокристалу шляхом зсуву (ковзання) або двійникування. Формозміна металу при обробці тиском проходить в результаті пластичної деформації кожного зерна. Площини і напрями ковзання в кожному зерні різні. При збільшенні зовнішньої сили ковзання спочатку починається внайбільш сприятливо орієнтованих зернах, де досягнуто критичне дотичне напруження. Рух дислокацій, який почався в одному зерні, не може переходити в сусіднє зерно, так як в ньому системи ковзання орієнтовані по-іншому. Досягнувши зерна, дислокація зупиняється.

При більшому ступені деформації виникає переважаюча орієнтація кристалографічних площин і напрямків в зернах. Закономірна орієнтація кристалітів відносно зовнішніх деформаційних сил отримала назву **текстури деформації**.

Чим більший ступінь деформації, тим більша частина кристалічних зерен отримує переважаючу орієнтацію (текстуру). Характер текстури залежить від природи металу і виду деформації (прокутування, волочіння).

Зі збільшенням ступеня холодної деформації властивості, які характеризують опір деформації, збільшуються, а здатність до пластичної деформації знижується. Це явище отримало назву **наклепу**.

Зміцнення металу в процесі деформації (наклеп) пояснюється збільшенням числа дефектів кристалічної будови (дислокацій, вакансій, міжвузлових атомів). Підвищення щільності дефектів кристалічної будови затрудняє рухові окремих нових дислокацій, а відповідно, підвищує опір деформації і зменшує пластичність.

**4. Процеси, що відбуваються при нагріванні деформованих металів. Повернення, полігонізація**

Більша частина роботи (до 95 %), яка затрачається на деформацію металу, перетворюється в теплову (метал нагрівається), інша частина енергії акумулюється в металі у вигляді підвищеної щільності дефектів будови. Про накопичення енергії свідчить також ріст залишкових напружень в результаті деформації. При нагріванні такого металу в ньому протікають процеси повернення, полігонізації, рекристалізації, які обумовлюють повернення всіх властивостей до властивостей металу до деформації.

При нагріві до порівняно низьких температур (звичайно нижче (0,2…0,3) Тпл) починається процес повернення, під яким розуміють підвищення структурної досконалості наклепаного металу в результаті зменшення щільності дефектів будови, однак без помітних змін структури, видимої в світловому мікроскопі, в порівнянні з деформованим станом.

В процесі повернення розрізняють дві стадії:

- власне перша стадія повернення протікає при більш низьких температурах (нижче (0,2Тпл ), коли відбувається зменшення точкових дефектів (вакансій) і невелике перегрупування дислокацій без утворення нових субграниць;

- полігонізація – це фрагментація кристалітів на субзерна (полігони) з мало кутовими границями і відбувається при нагріві до більш високих температур.

**5. Первинна та вторинна рекристалізація. Холодна та гаряча деформації**

При нагріві до достатньо високих температур рухливість атомів зростає і відбувається **рекристалізація**.

Нагрів металу до температур рекристалізації супроводиться різкою зміною мікроструктури і властивостей. Нагрів призводить до різкого зниження міцності при одночасному зростанні пластичності. Також знижується електроопір і підвищується теплопровідність.

При нагріві, наклепаного металу старе зерно не відновлюється, а з’являється зовсім нове зерно, розміри якого можуть суттєво відрізнятися від вихідного. Утворення нових, рівновісних зерен замість орієнтованої волокнистої структури деформованого металу називається **рекристалізацією обробки,** або **первинною рекристалізацією**. При цьому різко зижується щільність дислокацій, наклеп знімається повністю, зростає пластичність і знижується міцність.

Збиральна рекристалізація полягає в зростанні одних рекристалізованих зерен за рахунок інших.

Рушійною силою є поверхнева енергія зерен. При дрібних зернах поверхня розділу велика, тому є великий запас поверхневої енергії. При укрупненні зерен загальна протяжність границь зменшується і система переходить в більш рівноважний стан.

Вторинна рекристалізація – переважаючий ріст окремих нових зерен і формування рівно зернистості.

В залежності від співвідношення температури деформації і температури рекристалізації розрізняють такі види деформації:

- холодна деформаціа – це деформація, яку проводять при температурі нижче температури рекристалізації. Вона супроводжується зміцненням (наклепом) металу;

- гаряча деформація – це деформація, яку проводять при температурі вище температури рекристалізації для отримання повністю рекристалізованої структури.

**6. Механічні властивості, які визначають при статичних випробуваннях**

Під **механічними властивостями** розуміють характеристики, які визначають поведінку металу ( або іншого матеріалу) під дією прикладених зовнішніх механічних сил.

Домеханічних властивостейналежать твердість, міцність, пластичність, ударна в'язкість.

Найпростішим способом визначення міцнісних властивостей металів без виготовлення спеціальних зразків і практично без руйнування зразка або деталі є визначення їх твердості.

**Твердістю**називається здатність чинити опір проникненню в нього ін­шого, більш твердого тіла.

Існує кілька методів визначення твердості металів. З них найширше застосовують методи Брінелля і Роквелла.

За **методом Брінелля** твердість визначають на спеціальному приладі вдавлюванням у випробуваний зразок (виріб) сталевої загартованої куль­ки діаметром 2,5, 5 або 10 мм під навантаженням 62,5...3000 кгс (612,5... 29 400 Н) залежно від твердості і товщини випробуваного зразка (виробу).

Число твердості за Брінеллем НВ є відношенням навантаження *Р* до площі поверхні *F,* мм2, відбитка кульки

НВ = P/F,

якщо навантаження виражене в кілограм-силі, і

НВ = 0,102 P/F,

якщо навантаження виражене в ньютонах.

Твердість за Брінеллем звичайно показують без позначення одиниць, наприклад, 350 НВ.

Значення твердості за Брінеллем можна використати для приблизної оцінки границі міцності матеріалу за формулою ств = 0,35 НВ.

**Твердість за Роквеллом** визначають вдавлюванням сталевої кульки діаметром 1,58 мм або алмазного конуса з кутом при вершині 120 °С. Число твердості за Роквеллом позначають НR, добавляючи назву шка­ли, яка визначає умови випробування: НRА - конус, навантаження 60 кгс (588 Н); НRВ - кулька, навантаження 100 кгс (980 Н); НRСе - конус, наван­таження 150 кгс (1470 Н) і подають в умовних одиницях, наприклад, 42 НRА, 95 НRВ, 52 НRСе.

**Міцністю**називається здатність матеріалів чинити опір дії зовнішніх руйнівних сил. Залежно від характеру цих сил розрізняють міцність при розтяганні, згинанні, стисканні, крученні.

Найбільш поширені випробування металів на розтяг.

Границею міцності при розтяганні σв називається умовне напружен­ня, яке дорівнює відношенню найбільшого навантаження *Рв,* що переду­вало зруйнуванню стандартного зразка, до початкової площі його пере­різу *F,* МПа:

.

Найменше напруження, під дією якого метал деформується без поміт­ного збільшення навантаження, визначає границю текучості σт. У розра­хунках деталей та інших конструкцій звичайно враховують умовну гра­ницю текучості σ0,2 - напруження, при якому залишкова деформація зраз­ка становить 0,2 % від початкової розрахункової його довжини.

Випробовуючи метал на розтяг, визначають також інші характеристи­ки опору деформації (границі пропорційності й пружності), а також його **пластичність***.* Пластичні властивості металу оцінюють відносним видов­женням зразка при розтяганні δ - відношенням приросту розрахункової довжини зразка до початкової її довжини l0, %:

δ = ((lk – l0)/l0) 100,

де lк- довжина розрахункової довжини зразка після розриву.

**Ударна в'язкість КС**- це здатність металу чинити опір динамічному (ударному) навантаженню. Характеристикою цієї властивості є робота *А*, Дж, затрачена при динамічному зруйнуванні надрізаного зразка і відне­сена до площі його поперечного перерізу *F,* см2, у місці надрізу:

КС = A/F.

У позначення ударної в'язкості вводять також третю літеру, яка зазна­чає вид надрізу (U-, V-, Т-подібний): КСІU, КСV, КСТ. Ударна в'язкість виражається в джоулях на квадратний метр (Дж/м2).

**7. Властивості, які визначають при динамічних випробуваннях (конструкційна міцність металів, руйнування металів)**

**Конструкційна міцність** *–* комплекс міцнісних властивостей, які знаходяться в найбільшій кореляції (взаємодії) із експлуатаційними властивостями даного виробу, забезпечують тривалу і надійну роботу матеріалу в умовах експлуатації.

На конструкційну міцність впливають наступні чинники:

* конструкційні особливості деталі (форма і розміри);
* механізми різних видів руйнування деталі;
* стан матеріалу в поверхневому шарі деталі;
* процеси, що відбуваються в поверхневому шарі деталі, що призводять до відмов при роботі.

Необхідною умовою створення якісних конструкцій при економічному використанні матеріалу є перелік додаткових критеріїв, що впливають на конструкційну міцність. Цими критеріями є надійність і довговічність.

**Надійність** *–* властивість виробів, виконувати задані функції, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного часу або опір матеріалу крихкому руйнуванню.

Визначальними критеріями надійністі є температурні пороги холодоламкості, опір розповсюдженню тріщин, ударна в'язкість, характеристики пластичності.

**Довговічність** *–* здатність деталі зберігати працездатність до певного стану.

Критеріями довговічністі є втомна міцність, зносостійкість, опір корозії, контактна міцність.

Процес деформації, досягнувши високих напруг, завершується руйнуванням. Тіла руйнуються по перетину не одночасно, а внаслідок розвитку тріщин. Руйнування включає три стадії:

* зародження тріщини,
* її розповсюдження через перетин,
* остаточне руйнування.

Розрізняють **крихке руйнування** – відрив одних шарів атомів від інших під дією нормальних розтягуючих напруг. Відрив не супроводжується попередньою деформацією. Механізм зародження тріщини однаковий - завдяки скупченню дислокацій, що рухаються, перед перешкодою (межі субзерен, фазові межі), що призводить до концентрації напруг, достатньої для утворення тріщини. Коли напруги досягають певного значення, розмір тріщини стає критичним і подальше зростання здійснюється довільно.

Розрізняють транскристалічне руйнування – тріщина розповсюджується по тілу зерна, інтеркристалічне – по межах зерен (завжди крихке).

**В'язке руйнування** – шляхом зрізу під дією дотичних напруг. Йому завжди передує значна пластична деформація.