

УДК 621.787.4

А.А. Ткачук, В.В. Мережа, А.Ю. Решетило

Луцький національний технічний університет

## **ВПЛИВ ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ**

*Описані ефективність ППД як методу зміцнюючої технології яка полягає в тому, що пластична текучість металу в зоні контакту інструменту і деталі відбувається в умовах всестороннього стиснення (гідростатичного тиску), що визначає високі показники зміцнення металу, без зародження або з незначним утворенням субмікротріщин.*

У зв'язку зі збільшенням механічної та теплової напруженості сучасних конструкцій все більш актуальною постає проблема підвищення експлуатаційної надійності деталей приладів та механізмів. Експлуатаційні властивості поверхні залежать від інтенсивності процесів руйнування металу.

Руйнування металів і сплавів проходить шляхом утворення та розвитку тріщин. Воно відбувається в декілька етапів: зародження субмікротріщин (зародкова тріщина), злиття їх в мікро, а потім макротріщину, ріст макротріщини, та поділ металу на складові частини.

Теорія дислокацій пояснює механізм зародження субмікротріщин, відштовхуючись від моделей показаних на рис. 1.

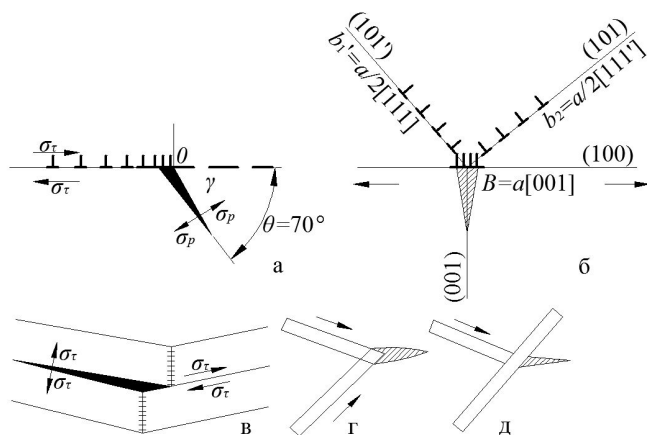


Рис. 1. Схема дислокаційних механізмів утворення субмікротріщин:

а – модель Зінера, Мотта та Стро; б – модель Котрелла; в – модель розриву стінки дислокацій; г – схема виникнення тріщин при зустрічі двох двійників; д – схема гальмування одного двійника іншим

Згідно найпростішої моделі (див. рис. 1а), перед різними перешкодами (дислокаційні стінки, границі двійників, субзерен, зерен, міжфазні границі, інші вклучення) виникає велике скупчення дислокацій, що приводить до концентрації напружень, а це в свою чергу приводить до утворення тріщин, зазвичай під кутом  $\theta = 70^\circ$  до площини ковзання.

Інший механізм, запропонований Котреллом, пояснює виникнення тріщин злиттям рухомих дислокацій з утворенням «розколеної» дислокації (див. рис. 1 б).

При наявності в кристалі небагатогранних структур з великими значеннями орієнтацій, можливе утворення мікротріщини за рахунок зсуву вздовж дислокаційної стінки (див. рис. 1 в).

Існують також інші дислокаційні межанізми зародження субмікротріщин (див. рис. 1 г, д), в основу яких покладено уявлення про концентрацію напружень, утворених дислокаціями. При міжзерновій деформації можливе утворення тріщин на границях зерен які переміщуються одне відносно одного.

Субмікротріщини мають розміри порядку  $10^{-1}$  мкм. Їх ріст відбувається шляхом об'єднання з іншими мікротріщинами або взаємодією з вакансіями і накопиченням дислокацій до утворення мікротріщини порядку 1 мкм.

Подальша поведінка тріщини залежить від того, по якому механізму (крихкому чи пластичному) буде відбуватися її ріст.

**Крихке руйнування** являє собою розрив середовища з незначною попередньою пластичною деформацією. Воно потребує незначної енергії та розповсюджуються з великою швидкістю за рахунок розвитку тріщини перпендикулярно до напрямку дії напруження. Розповсюдження тріщини продовжується до тих пір, доки місцеві напруження, що виникають на фронті тріщини, не стануть меншими за межу міцності.

**Пластичне руйнування** супроводжується значною пластичною деформацією та розповсюджується в напрямку найбільших дотичних напружень. Для в'язкого руйнування потрібні великі затрати енергії.

Крихке руйнування найчастіше проходить по кристалографічних площинах в середині самого зерна. Таке руйнування називається транскристалічним або внутрішньозерновим. Проте при низьких температурах і наявності на границях зерен дисперсних фаз і домішок, метали та сплави можуть руйнуватись по границях зерен – так зване інкристалічне (міжзернове) руйнування.

Пластичне руйнування відбувається в декілька етапів. На першому етапі в металі виникають пори, які об'єднуються, в результаті чого утворюється тріщина. Другий етап – ріст самої тріщини. На третьому етапі відбувається відділення частин металу по площинах, розміщених під кутом, приблизно  $45^{\circ}$  до осі навантаження.

Одні й ті ж самі метали можуть руйнуватися обома переліченими способами в залежності від умов, серед яких основними є швидкість деформації, температура та структурний стан. Крихке руйнування виникає при низьких температурах і різких навантаженнях. Пластичне руйнування пов'язане з високими температурами та малими навантаженнями. Температура переходу від пластичного до крихкого руйнування не є постійною. Вона залежить від чистоти металу, величини зерна, режимів термообробки. На графіку (рис. 2) показано залежність енергій руйнування  $a_n$  від температури для різних станів металу.

Горизонтальні, нижні ( $a_n < 0,8$ ) та верхні ділянки кривих являються зонами крихкого та пластичного руйнування відповідно. Ділянки, що їх з'єднують – це переходи від крихкого до пластичного руйнування.

Зменшення розміру зерен сприяє цьому переходу.

Крихке руйнування спостерігається в металах, особливо помітно в присутності домішок, що утворюють втерді розчини або вкраплення.

Зміна швидкості деформації при навантаженнях від  $10^{-3}$  до  $10^2 \text{с}^{-1}$ , як правило не впливає на характер пластичного руйнування. При швидкості деформації більше  $10 \text{с}^{-1}$  змінюється характер пластичного руйнування, що може привести до крихкого руйнування.

Серед інших факторів, що впливають на процеси руйнування, слід відмітити:

- 1) концентрацію напружень в надрізах або западинах шорсткості;
- 2) вплив зовнішнього середовища;
- 3) характер напружень які діють на метал.

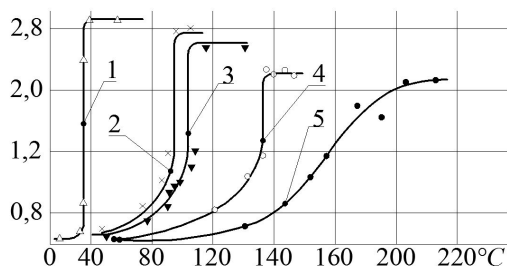


Рис. 2. Перехід від пластичного до крихкого руйнування при ударних випробуваннях сталі ШХ-15 високої чистоти в залежності від режимів термічної обробки: 1 – гартування при  $900^{\circ}\text{C}$ ; 2 – гартування при  $950^{\circ}\text{C}$  + охолодження в печі при  $700^{\circ}\text{C}$ ; 3 – охолодження повітрям при  $950^{\circ}\text{C}$ ; 4 – охолодження в печі при  $950^{\circ}\text{C}$ ; 5 – охолодження в печі при  $950^{\circ}\text{C}$  + гартування при  $700^{\circ}\text{C}$  у воді

Якщо дефект у вигляді тріщини або надрізу має довжину  $l$  та радіус  $r$ , то максимальне напруження на вершині гострої тріщини, згідно Інгліса буде дорівнювати:

$$\sigma_{\max} = 2\sigma \sqrt{\frac{l}{r}};$$

де,  $\sigma$  – середнє напруження, що діє далеко від вершини.

Відповідно, коефіцієнт концентрації напружень  $K_{\sigma} = \sigma_{\max} / \sigma$  залежить від геометрії дефекту. Припустимо, мінімальний радіус дефекта має порядок розмірів дислокацій ( $10^{-8}$ ), то для  $2l = 2 \cdot 10^{-5}$  має значення  $K_{\sigma} = 63$ .

Зовнішнє середовище може мати як необоротний вплив на метал, так і оборотний. В останньому випадку механічні характеристики матеріалу відновлюються при видаленні діючої на нього поверхню речовини або сили.

Необоротний вплив хімічно активного середовища під напруженням може викликати перехід від пластичного до крихкого руйнування.

Сильний вплив на процес руйнування металу має знак діючих напружень.

Процеси руйнування в металі інтенсивно розвиваються під дією напружень. Всебічне стискання (гідростатичний тиск) зменшує такі напруження, зупиняє розвиток та ріст тріщин, окрім того високий гідростатичний тиск «заліковує» мікротріщини, можливий навіть перехід від стану крихкого до пластичного руйнування.

Висока ефективність ППД як методу зміцнюючої технології полягає в тому, що пластична текучість металу в зоні контакту інструменту та деталі відбувається в умовах всебічного стискання (гідростатичного тиску), що визначає високі показники зміцнення металу, без зародження або з незначним утворенням субмікротріщин.

Другою стороною ефективності ППД являється можливість отримання в поверхневому шарі залишкових напружень, які гальмують розвиток субмікротріщин.

Широко розповсюджена точка зору, згідно якої зміцнення мартенситу при ппд пов'язано з виділенням дисперсних карбідних фрагментів, які блокують площини ковзання. Виходячи з того, що в результаті деформації ширина рентгенівських ліній в загартованих сталей зменшується, а в безвуглецевих сплавів збільшується, можна припустити, що деформація мартенситу прискорює його розпад, наслідком чого являється утворення зародків дисперсної карбідної фази.

Як виявилось зменшення фізичної ширини рентгенівських ліній мартенситу після ППД в основному обумовлено не зміною тетрагональності кристалічної ґратки, а зменшенням неоднорідності структури яка властива їй в початковому не деформованому стані. Проте це не виключає можливості утворення дуже дрібних карбідних виділень когерентно пов'язаних з кристалічною ґраткою.

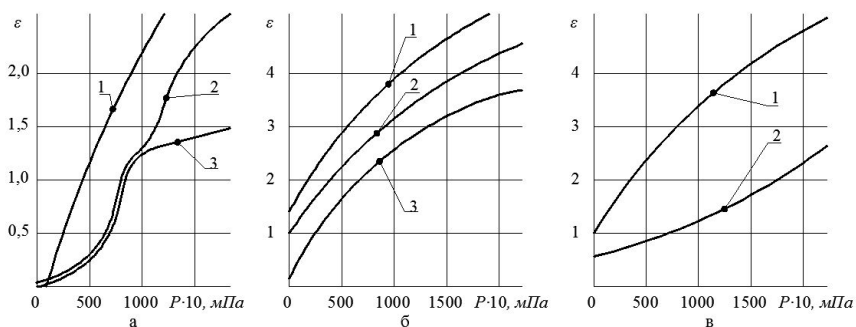


Рис. 3. Залежність граничної пластичності від гідростатичного тиску: а – сплави на основі молібдену (1 – молібден М4; 2 – молібден МС; 3 – сплав ВМ-1); б – сплави на основі заліза (1 –  $\alpha$ -залізо; 2 – сталь ШХ-15-нормалізація; 3 – сталь ШХ-15-відпал); в – сплави на основі титану (1 – ВТ-1; 2 – ВТ5-1)

Таким чином, механізм поведінки металу при пластичній деформації показує, що зміцнення металу супроводжують складні фізичні явища, які слід враховувати під час проектування технологічних процесів використовуючи дискретну будову металів та основні наукові положення теорії фізики металів.

**Література:**

1. Балтер М.А. Зміцнення деталей машин. - М.: Машиностроение, 1978. - 184с.
2. Мосталигін А.Г. Підвищення зносостійкості деталей // Машинобудівник-1980 . - № 12. - С.31 - 32.
3. Барац Л.І. Теплофізичні основи технології фінішної обробки деталей поверхневим пластичним деформуванням: Дис. докт.техн.наук. - Куйбишев, 1989. - 419с.
4. Барков А.В. Діагностика та прогнозування технічного стану підшипників кочення за їхніми віброакустичними характеристикам, // Суднобудування, - 1985 . - № 3. - С.21 - 23.