

ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ МІЦНОСТІ ВИРОБІВ²⁵

Дуліч Д.В., магістр групи МС-51-23
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Досліджено вплив модифікування поверхні методом іонного бомбардування на стан поверхневого шару на властивості виробу в цілому.

Ключові слова: сталь 20, поверхня, іонне бомбардування, субструктура, шорсткість, нанотвердість, міцність, пластичність

EFFECTIVE METHOD OF INCREASE CONSTRUCTIVE PRODUCT STRENGTHS

Dulich D.V., master of group MC-51-23
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The impact of surface modification by ion bombardment on the state of the surface layer on the properties of the product as a whole was studied.

Key words: steel 20, surface, ion bombardment, substructure, roughness, nanohardness, strength, ductility

Вступ

Важливою задачею сучасного машинобудування є підвищення надійності деталей і конструкцій розрахованих на довготривалу експлуатацію. Визначальним фактором при цьому є конструкційна міцність (КП). У зв'язку з цим постає актуальне питання пошуку нових технологій обробки конструкційних матеріалів, що забезпечать підвищення КП.

Відомо, що найбільш ефективним способом збільшення КП є обробкою на ультрадрібне зерно. Особливо значущих успіхів можна досягти, отримавши в матеріалі нанокристалічну будову що дозволяє істотно зміцнити матеріал і зберегти при цьому високі значення пластичності, ударної в'язкості і в'язкості руйнування.

Однак отримати нанорозмірну структуру по всьому перерізу масивних виробів досить важко і це вимагає використання складних і дорогих методів (інтенсивної пластичної деформації, способів порошкової металургії). В той же час поверхнєве наноструктурування можна створити досить просто: шляхом лазерної або іонно-плазмової обробки (ІПО). Питанню про те, як стан тонкого робочого шару може вплинути на механічні властивості та довговічність виробу в цілому, і присвячена дана робота

Аналіз публікацій

Аналіз літературних джерел свідчить, що стан поверхневого шару визначає суттєві відмінності поведінки під деформацією поверхневих та внутрішніх шарів металу, вносить зміни до діаграми розтягування та характер руйнування виробу [1- 4].

²⁵ Робота виконана під керівництвом доцента Дощечкіної І.В.

Мета роботи і завдання

Метою даної роботи було дослідження впливу модифікованого поверхневого шару іонним бомбардуванням на поведінку та формування властивостей виробу під навантаженням..

Матеріал і методи дослідження

Дослідженню підлягали стандартні циліндричні зразки ($l_0 = 25$ мм, $d_0 = 5$ мм) відпаленої сталі 20, які піддавалися іонному бомбардуванню (ІБ) низкоенергетичними (до 3 кеВ) іонами титану на установці «Булат - 3Т» в атмосфері аргону. Для рівномірності обробки зразки обертали навколо осі.

Випробування зразків на розтягання проводили за стандартною методикою на машині УІТ-STM-50.

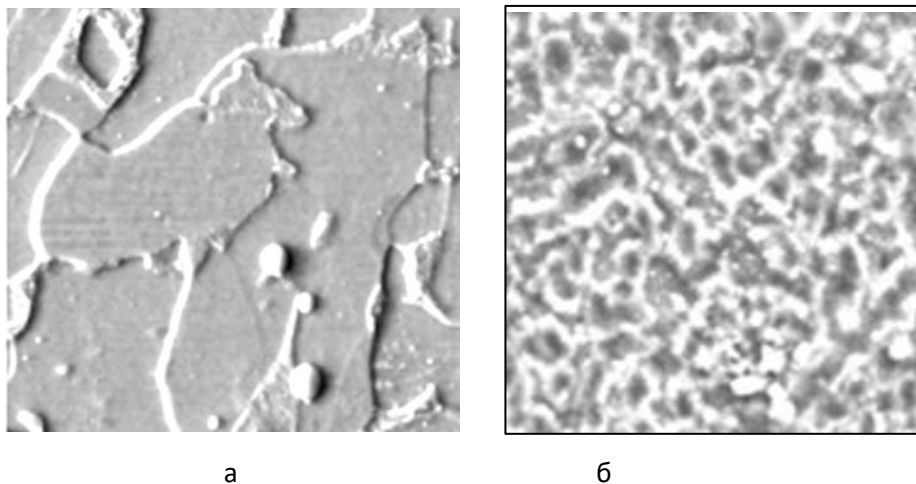
Шорсткість та профіль поверхні оцінювали за допомогою профілометра-профілографа NR200.

Мікроструктуру досліджували на оптичному (УІТ MicroMet-I-102 BD) та растровому електронному (РЕМ–106) мікроскопах.

Вимірювання нанотвердості проводили на нанотвердомірі Nanoindenter II (MTS Systems Corporation, OakRidge, USA) індентором Берковича. Для визначення розподілу нанотвердості за глибиною поверхневого шару використана методика середнього контактного тиску, що дозволило визначити середній контактний тиск для усіх точок діаграми навантаження.

Результати дослідження

Мікроструктурним аналізом зафіксоване значне подібнення зерен фериту: до ІБ середній розмір зерен дорівнював 40 мкм і в середині їх субграниці не виявлялися (рис. 1). Після ж ІБ фіксується розвинена субструктура із розміром елементів 150 – 200 нм з чіткими субграницями, шириною 130 – 255 нм (рис. 1). Як відомо, така модель структури характерна для наноматеріалів.



а – відпал; б – відпал + ІБ

Рисунок 1 – Мікроструктура сталі 20; $\times 10000$

Виявлений ще один безперечно позитивний фактор - «заліковування» поверхневих дефектів (пор, мікротріщин, западин після механічної обробки, які є потенційними концентраторами напружень), за рахунок осідання в них окремих дрібних крапель титану, що залишилися після сепарації. Слідством згладжування рельєфу при ІБ є суттєве зменшення шорсткості поверхні Ra - з 1,26 до 0,23 мкм.

З використанням методу розрахунку середнього контактного тиску для кожної точки діаграми навантаження при індентуванні була визначена нанотвердість тонкого поверхневого шару. На самій поверхні зареєстрована нанотвердість 11 ГПа, на глибині 30 нм вона різко зменшилася до 5 ГПа, а далі монотонно знижується, і наближається до вихідного значення 2,7 ГПа на глибині до 100 нм.

З метою дослідити зміни стану дуже тонкого нанорозмірного модифікованого поверхневого шару на деформаційну поведінку зразків та характер руйнування були проведені випробування на розтяг. Кількісні значення показників механічних властивостей наведені в таблиці 1.

Таблиця 1– Механічні характеристики зразків зі сталі 20 після різної обробки

Стан	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	S_k , МПа	δ , %	ψ , %	HV 5/15
Відпал	445	230	910	31	58	130 - 133
Відпал + ІБ	515	290	1010	31	60	129 - 133
Шар знятий	440	230	905	30	60	128 - 132

Результати свідчать, що ІБ поверхні помітно підвищує показники міцності (σ_b на 16 % і $\sigma_{0,2}$ на 26 %) і при цьому зменшує вірогідність крихкого руйнування, оскільки зберігаються високим показник S_k (дійсне напруження руйнування) і характеристики пластичності. Мікротвердість залишається незмінною, тобто на глибині проникнення індентора (алмазної піраміди Віккерса) зміцнення не реєструється. Після видалення модифікованого шару властивості повертаються до вихідного стану (без ІБ). Прямими експериментами доведено, що йдеться не про зміну властивостей матеріалу, а про іншу деформаційну поведінку зразка.

Висновки

Зміни поведінки зразків, які підлягали ІБ, і їх властивостей при розтяганні можна пояснити тим, що в дуже тонкому модифікованому шарі із субмікросталічним (нанорозмірним) зерном не може реалізуватися дислокаційний механізм пластичної деформації і змінюється на бездислокаційний механізм субзеренного проковзування і ротаційних мод. Поверхневий шар є більш рухомим, має більшу деформаційну здатність в порівнянні із основним металом, і тому в тілі виробу під навантаженням продовжується пластична течія. До того ж «залікування» дефектів (зменшення числа концентраторів напружень і пов'язаного з ними окрихчування металу) також продовжує пружно-пластичну стадію при розтягу твердого тіла. ІБ можна розглядати як самостійну обробку для підвищення конструктивної міцності та надійності виробів. Ефект зміцнення при збереженні пластичності виробу під впливом стану та товщини тонкого модифікованого ІБ поверхневого шару має значний практичний інтерес

Література

1. Doschechkina I., Sazonov O. Increasing the fatigue strength of machine parts using surface engineering methods. *Slovak international scientific journal* , 2024, Vol 83, pp..61-67
2. Doshchechkina I. V., S. S. D'yachenko S. S., Ponomarenko I. V., Tatarkina I. S. Improving the plasticity of thin cold-rolled steel sheet for cold stamping, *Steel in Translation..* 2021, Vol. 46, pp. 364 – 367.
3. Doshchechkina I.V., Lalazarova N.A., Tatarkina I. S. The effect of substructured surface layer on deformation behavior of products and change of their on-load properties. *Матеріали III міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід»*, Нідерланди, 2019. С. 211-215.
4. Dyachenko S.S., Doshchechkina I.V., Ponomarenko I.V., Tatarkina I. S Use of the Ion-Plasma Treatment for Improving the Structural Strength of Items *Jornal of Nano- and Electronic Physics*. Sumy State University , 2012, Vol. 4, pp. 1 – 4.