

УДК 669.14.018:621.78

ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ НА ПОВЕДІНКУ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВИРОБУ¹²

Онiкiєнко В.І., ст. гр. МС - 41-19, ХНАДУ

Анотація. Вивчено вплив бомбардування поверхні низькоенергетичними іонами на структуру та властивості виробу під впливом статичного та циклічного навантаження. Встановлено підвищення міцності при незмінно високих показниках пластичності. Показано, що іонне бомбардування тонкого поверхневого шару збільшує довговічність виробів у 1,5 рази.

Ключові слова: іонне бомбардування, шорсткість поверхні, субструктура, міцність, пластичність, циклічна довговічність.

INFLUX OF MODIFICATION OF THE SURFACE ON THE BEHAVIOR OF THE INTERESTS AND THE POWER OF THE WILL

Onikienko V.I., st. of. MS - 41-19, KHNADU

Annotation. The effect of surface bombardment with low-energy ions on the structure and properties of a product under the influence of static and cyclic loading has been studied. An increase in strength at consistently high rates of plasticity has been established. It is shown that ion bombardment of a thin surface layer increases the durability of products by 1.5 times.

Keywords: ion bombardment, surface roughness, substructure, strength, plasticity, cyclic durability.

Вступ

У сучасному машинобудуванні у зв'язку з ускладненням конструкцій, інтенсифікацією робочих процесів, збільшенням діючих напружень, розширенням діапазону робочих температур і середовищ набуває особливого значення здатність виробу чинити опір зовнішнім впливам для забезпечення надійності та довговічності в експлуатації.

Як відомо, стан поверхні істотно впливає на об'ємні механічні властивості виробів, бо більшість процесів, що призводять до зниження довговічності (втома, абразивне зношування, корозія), починаються в поверхневих шарах. Розроблення нових способів поверхневого модифікування для покращення експлуатаційних характеристик виробів є важливим питанням і в наш час.

Стан питання

До сучасних та ефективних методів обробки поверхневого шару, що кардинально змінюють його структурно-напружений стан та мікрогеометрію і впливають на механічні властивості виробів в цілому відносяться іонно-плазмові технології (метод КІБ). Простим і дуже ефективним є іонне бомбардування (ІБ) поверхні низькоенергетичними іонами за технологією, яка широко застосовується для очищення поверхні перед нанесенням покриттів у промислових установках «Булат». Після ІБ границя текучості залежно від сталі збільшується на 26 – 35%, а тимчасовий опір на 15-17% без зменшення пластичності [1]. Підвищення механічних характеристик внаслідок ІБ доведено і в роботах [2,3], що пояснюється поєднанням субмікро- та наноструктуруванням тонкого поверхневого шару.

¹² Робота виконана під керівництвом професора Дощечкіної І.В.

Важливим фактором у підвищення довговічності деталей машин є заліковування поверхневих дефектів (пор, подряпин, мікротріщин), а також наслідків грубої механічної обробки. Шорсткість поверхні є однією із основних геометричних характеристик якості поверхні деталей, яка у першу чергу, впливає на втомну міцність і на експлуатаційні показники виробу в цілому [4,5]. Наявність мікронерівностей на поверхні призводить до концентрації напружень в западинах, сприяє появі тріщин і знижує міцність, зносостійкість та довговічність деталі [6]. Модифікування поверхневого шару виробу тими або іншими методами технологічної дії дозволяють вирішувати багато найважливіших технічних задач виробництва і є актуальним напрямом досліджень.

Мета і постановка завдання

Метою даної є підвищення опору втомі виробів шляхом модифікування тонкого поверхневого шару з використанням сучасних технологій.

Завдання дослідження - вивчити вплив модифікування поверхні на структуру та властивості виробу під впливом різних видів навантаження, що дозволить збільшити експлуатаційний.

Матеріал і методики досліджень

Дослідження виконано на сталях 20 та 40Х. Модифікування поверхні здійснювали іонним бомбардуванням низькоенергетичними іонами титану (1-3 кеВ) в установці «Булат» ННВ-66-ІІ в атмосфері пргону. Шорсткість і профіль поверхні вивчали за допомогою профілометра-профілографа TR200, що відповідає стандартам ISO 4287-97. Похибка вимірювання Ra не перевищувала 10%. Розтягання підлягали циліндричні зразки діаметром 10мм за стандартною методикою. Випробування на втому проводили на машині МУІ – 6000 при самому жорсткому циклі навантаження (чистий згин з обертанням), яке змінювалося за симетричним синусоїдальним законом. Поліровані зразки для випробувань були з укороченою за рахунок перехідних перерізів робочою частиною, що дозволило зменшити жолоблення (не більше 0,05 мм) та збільшити жорсткість. Твердість вимірювали за Віккерсом при навантаженні 5 кгс. Мікроструктуру вивчали на оптичному мікроскопі UIT MicroMet-I-102 BD, та електронному PEM-106 ВАТ SELMI.

Результати досліджень

Поверхневому іонному бомбардуванню (ІБ) підлягали зразки з відпаленої сталі 20, яка вибрана у якості модельної, бо має переважно структуру фериту і дозволяє більш точно оцінити зміни структури поверхневого шару після ІБ. Стандартні циліндричні зразки піддавали випробуванням на розтягання, які значно простіші, ніж випробування на втомну міцність, а в той же час відомо, що руйнування металів під статичним та циклічними навантаженнями супроводжується однаковими структурними змінами.

Криві розтягання до та після ІБ наведені на рис. 1, з якого видно, що наслідком ІБ є зміцнення зразків – крива 2 лежить вище кривої 1, однак пластичність залишається незмінною. Треба зазначити, що після ІБ крива розтягування в пружній області йде крутіше, ніж для відпаленого стану. Це свідчить про підвищення модуля пружності, яке позначиться на показниках втомної міцності.

Кількісні значення показників механічних властивостей наведені в таблиці 1.

Як свідчать показники механічних властивостей, після ІБ тимчасовий опір σ_b підвищується на 16%, а границя текучості $\sigma_{0,2}$ на 26% %, при цьому відносне подовження і відносне звуження зразків залишаються однаковими і достатньо великими. Незмінною є також мікротвердість, тобто вже на глибині проникнення індентора (алмазної піраміди) зміцнення не реєструється.

Після шліфування поверхневого шару на глибину 0,5 мм показники міцності реєструються на рівня вихідного стану (після відпалу). Таким чином, ІБ тонкого поверхневого шару змінює не властивості матеріалу зразків, а поведінку їх при розтяганні, що і приводить до їх зміцнення. При цьому структура матеріалу серцевини зразків залишилася незмінною.

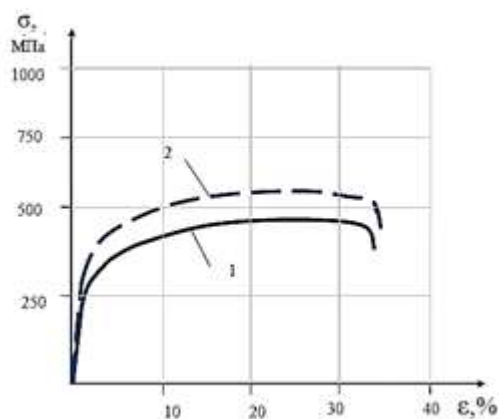


Рис. 1. Криві розтягання циліндричних зразків сталі 20:
1 – відпал; 2 – відпал + ІБ

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

Стан	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	HV ₅
Відпал	445	230	31	58	130-133
Відпал + ІБ	515	290	31	60	129-133
Відпал + ІБ + шліфування	440	230	30	60	128-132

Описані зміни властивостей після ІБ обумовлені структурними змінами поверхні зразків після ІБ, що ілюструє рис. 2.

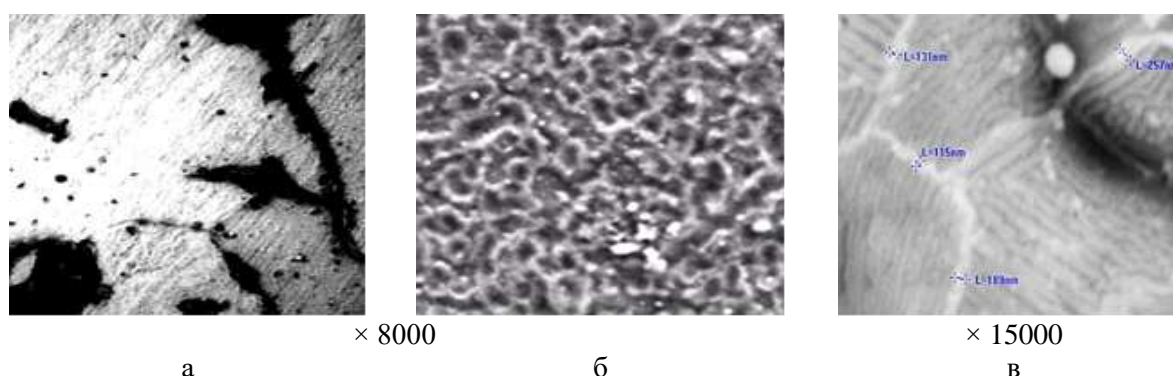


Рис. 2. Мікроструктура (а), субструктура (б),
границі розділу в субмікроструктурі після ІБ

Як видно з рисунку, відбулося дуже суттєве подрібнення феритних зерен: до ІБ середній розмір зерна був 60 мкм і в середині зерен фериту субграніці не виявляються (рис. 2, а), а піс-

ля ІБ в зернах фериту фіксується розвинена субструктура із розміром елементів 250 – 300 нм, які мають чіткі широкі (130–255 нм) субграниці (рис. 2, б і в). Саме така специфічна тонка структура, що характерна для субмікро- та нанокристалічного стану металу, і обумовлює особливу поведінку зразків в процесі деформації, що виключає охрихнення при високому зміцненні.

Була також досліджена шорсткість поверхні до та після ІБ. Результатив показали, що показник шорсткості Ra після ІБ зменшується – з 1,26 до 0,20 мкм, що є побічним слідством малої глибини рельєфу поверхні із розвиненою субструктурою, що утворилася після ІБ.

Враховуючи отримані дані було вивчено вплив ІБ на втомну міцність. Об'єктом дослідження була покращена сталь 40Х, з якої виготовляють, деталі (осі, шестерні, вали), що експлуатуються при циклічних навантаженнях. Після ІБ стан поверхні аналогічний, отриманому раніше в сталі 20 (рис. 3). Зерно подрібнилося від 40 мкм до 600 - 800 нм. Шорсткість поверхні зменшилася від 1,36 до 0,31 мкм.

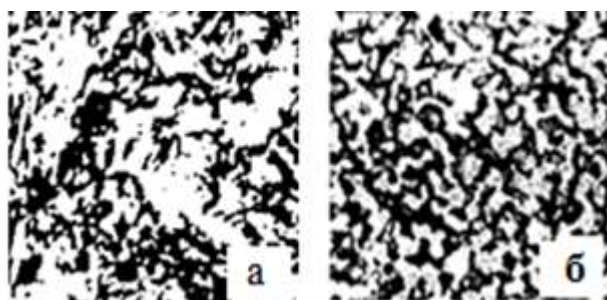


Рис. 3. Мікроструктура поверхні до (а) та після (б) ІБ, х 8000

До бомбардування розмір зерна був 50 мкм, а після ІБ з'являється розвинена субструктура з широкими границями та розміром зерен 600 - 800 нм. Шорсткість поверхні зменшилася від 1,36 до 0,31 мкм.

Зменшення шорсткості, суттєве подрібнення зерна та наявність розвиненої субструктури в поверхневому шарі не могли не позначитися на довговічності виробів. Результати випробувань на циклічну довговічність наведені у таблиці 1.2. Для визначення кількості циклів до руйнування зразків було вибрано напруження 380 МПа. Як видно з таблиці, при такому напруженні зразок без ІБ зруйнувався після 297 600 циклів, а після ІБ витримав 1 000 000 циклів без руйнування. Збільшення напруження до 430 МПа призвело до руйнування, але при цьому довговічність зросла ~ в 1,5 рази.

Таблиця 2 – Вплив ІБ на циклічну довговічність

Матеріал і обробка	Напруження, МПа	Кількість циклів до руйнування	Результат випробувань
Сталь 40Х, покращення	380	297600	зруйнувався
Сталь 40Х, покращ. + ІБ	380	1000000	не зруйнувався
Сталь 40Х, покращ. + ІБ	430	453840	зруйнувався

Висновки

1. При ІБ на поверхні виробу реалізуються два процеси – значне зменшення шорсткості та формування тонкого (менше 1 мкм) модифікованого шару, що поєднує субмікроструктурні та нанокристалічні елементи структури. Саме цей шар визначає поведінку виробу при дефор-

мації розтягуванням та під дією циклічних навантажень, тоді як механічні характеристики серцевини після ІБ не змінюються.

2. Іонне бомбардування слід розглядати як один із ефективних методів підвищення циклічної довговічності виробів

Література

1. Дяченко С.С. Матеріали різного призначення, їх обробка та властивості: навчальний посібник / С.С. Дяченко, І.В. Дошечкіна, І.В. Пономаренко, С.І. Бондаренко, Х.: ХНАДУ, 2016. – 348с.

2. Дошечкіна І. Роль масштабного фактора у формуванні властивостей виробу під впливом модифікування поверхні / Дошечкіна І. В. // Вісник ХНАДУ. Вип. 94 – 2021. – С .97 – 101.

3. Doshchechkina I., Lalazarova N., Tatarkina I. The effect of substructured surface layer on deformation behavior of products and change of their onload properties II Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід»: Матеріали. – Дніпро-Амстердам, 2019. – С. 211 – 216.

4. Vakulenko K.V., Kozak I.B., Matsevityy V.M. (2016) Effect of the state of surface layer on 40 steel fatigue characteristics // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. №3/5 (81) – 2016.– С. 18 – 22.

5. Шорнікова С.В. Шорсткість поверхні як одна із основних геометричних характеристик якості поверхні деталей. методи та засоби контролю / С.В.Шорнікова //Таврійський науковий вісник № 5. – 2022. – С.13 – 20

6. <https://buklib.net/books/36027/>.