

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 621.787:620.176.16:197.16

Проф. В.М. Голубець, д-р техн. наук;

проф. М.Д. Кірик, д-р техн. наук; аспір. Ю.Р. Капраль – НЛТУ України,

м. Львів; асист. А.Є. Рудь, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗМІЦНЕНОГО ВИСОКОШВИДКІСНИМ ТЕРТЯМ НАНОСТРУКТУРНОГО ШАРУ НА СТАЛІ 45

Проведено аналіз робіт зі зміцнення низьколегованих та конструкційних сталей високошвидкісним тертям. Представлено результати ідентифікації структурного стану матеріалів методом автоматичного індентування. Досліджено фізико-механічні характеристики сталі 45 зі зміцненням шаром, отриманим за допомогою оброблення високошвидкісним тертям.

Постановка проблеми. Під час оброблення деревини фрезуванням в ножових валах та головках як вставні елементи використовують ножі, які виготовляють з високолегованих та швидкорізальних сталей. Твердість ножів становить 59...63 HRC. Для отримання такої твердості ножі гартують і відпускають, застосовуючи нагрівання у електричних печах або за допомогою струмів високої частоти.

Альтернативою такій технології зміцнення ножів може бути оброблення передньої поверхні ножа високошвидкісним тертям, що забезпечує отримання поверхневого зміцненого шару товщиною до 900 мкм. Зміцнення сталей високошвидкісним тертям відбувається за інтенсивної пластичної деформації, спричиненої високими (1000...1300 °C) температурами та зусиллями (400...1200 Н) під час тертя зміцнювального диска зі швидкістю 50-80 м/с по поверхні зміцнюваної деталі. У формуванні структури зміцненого шару провідну роль відіграють ротаційні моди деформації [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З метою збільшення товщини зміцненого шару на низьколегованих та конструкційних сталях, які можна використовувати для виготовлення ножів, запропоновано зміцнення проводити з попутною подачею і тиск в зоні зміцнення створювати за рахунок копіювання навантаженим диском поверхні, що обробляється [2]. Цим способом було проведено зміцнення по передній поверхні ножів з нормалізованої конструкційної сталі 45 [3]. Зміцнений шар мав товщину 0,9...1,1 мм і мікротвердість 11...12 ГПа. Структура зміцненого шару була дуже дрібною. Це давало змогу припустити, що зміцнений шар може бути наноструктурного класу.

Наноструктурне поверхнєве зміцнення конструкційних сталей досліджувалось у Фізико-механічному інституті імені Г.В. Карпенка НАНУ. Оброблялась високошвидкісним тертям сталь 45 у феритно-перлітному стані. Рентгенівський аналіз поверхні зміцнених зразків у Fe- α випромінюванні з $\lambda = 1,936 \text{ \AA}$ показав, що величина зерен була 13 нм, а густина дислокацій $1,67 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Шар складався на 60 % з мартенситу (α -Fe) і 40 % з аустеніту

(γ -Fe). Товщина шару сягала 400 мкм, а мікротвердість була до 10 ГПа [4]. Автори роблять висновок, що для розширення технологічних можливостей високошвидкісного тертя потрібно вивчити фізико-механічні властивості нанокристалічних структур.

Формулювання мети дослідження. Дослідити фізико-механічні характеристики наноструктурного зміцненого високошвидкісним тертям шару на сталі 45.

Виклад основного матеріалу. Результати досліджень мікротвердості зміцненого шару, отриманого на нормалізованій сталі 45 та безпосередні випробування натурних деталей у виробничих умовах, вказують на істотне підвищення фізико-механічних властивостей зміцненого шару. Підвищення ефективності зміцнення високошвидкісним тертям завдяки застосуванню більш інтенсивного нагрівання та деформування поверхневих шарів металу дало змогу досягти кращої дисперсності під час зміцнення нормалізованої сталі 45. На наш погляд, саме зменшення структурної одиниці зміцненого шару вплинуло на підвищення мікротвердості з 7-8 до 10-11 ГПа.

Для визначення фізико-механічних властивостей зміцненого шару було виконано дослідження за сучасною методикою мікроіндентування на установці "Микрон-гамма" (ПІМ НАН України, м. Київ). Використану методику описано в роботі [5] та відповідає стандарту ISO 14577-2002. Мікроіндентування є одним з найбільш зручних, точних та інформативних способів дослідження характеристик матеріалів. Значною перевагою методу є автоматичне фіксування переміщення індентора під час постійного навантаження. Зіставлення величини пружних та пружно-пластичних деформацій для певної мікротвердості матеріалу дає змогу оцінити структурні характеристики.

За допомогою мікроіндентування з автоматичним навантаженням та розвантаженням алмазної піраміди Берковича вимірювали та розраховували такі механічні властивості зміцненого шару: мікротвердість (H_c , ГПа); модуль пружності (E , ГПа); модуль контактної пружності (E^* , ГПа); коефіцієнт питомої контактної твердості (H_c/E^*); відносне позаконтактне напруження (σ_{es} , ГПа). Автоматичне індентування проводили тригранною алмазною пірамідою (кут загострення $\alpha = 65^\circ$) з часом навантаження та розвантаження 30 секунд. Точність визначення глибини занурення алмазного індентора h становила $\pm 2,5 \text{ нм}$, а похибка визначення навантаження P у межах 0,5 %. Загальна похибка вимірювань не перевищувала 2 % та залежала від точності загострювання індентора.

Відновне позаконтактне напруження визначали за формулою:

$$\sigma_{es} = E^* \cdot \varepsilon_c \cdot \left(\frac{h_s}{h_c} \right), \quad (1)$$

де: h_s – поза контактна глибина занурення індентора, мм; h_c – контактна глибина занурення індентора, мм; ε_c – повна пружно-пластична контактна деформація матеріалу під індентором, $\varepsilon_c = \ln \sin \alpha$.

Значення показників діаграми індентування характеристик P , h_c , h_s , а також автоматично вираховані H_c , E^* , E фіксували за даними тисяч точок на

діаграмі індентування. Унаслідок виконаного експерименту отримано діаграму "глибина занурення індентора – навантаження" (рис.). Отримані та оброблені величини даних наведено в табл.

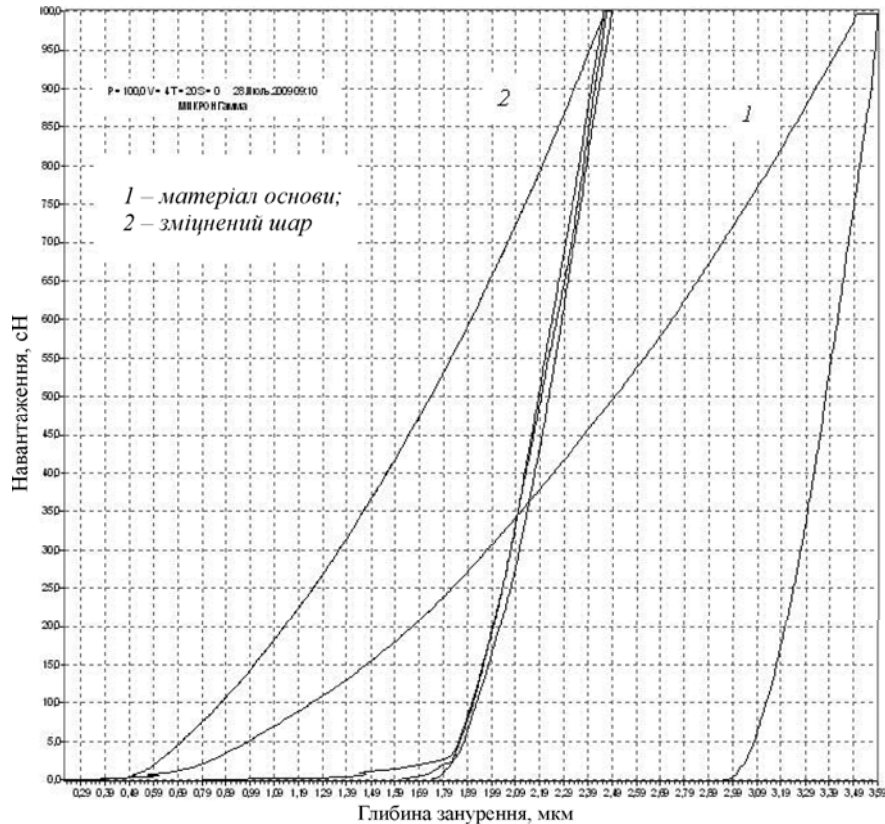


Рис. Криві автоматичного індентування в координатах глибина занурення індентора (h , $\mu\text{м}$) – навантаження (P , Н)

Табл. Механічні властивості зміцненого шару та матеріалу основи сталі 45

Сталь 45	H_{μ} , ГПа	H_{μ}/E^*	E^* , ГПа	E , ГПа	σ_{es} , ГПа
Матеріал основи	3,8	0,0205	185	212	1,166
Зміцнений шар	10,9	0,0591	184	210	3,345

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що мікротвердість зміцненого шару становить 10,9 ГПа. Товщина зміцненого шару становила близько 1,5 мм, що значно перевищує товщину зміцнення у [3]. Пошарове мікроіндентування показало стабільність досліджуваних показників по всій товщині зміцненого шару. Варіювання отриманих даних не перевищувало 5-7 %.

Відзначається зростання коефіцієнта питомої контактної твердості (H_{μ}/E^*) та відносного позаконтактного напруження (σ_{es}) майже у три рази. Відношення H_{μ}/E^* найбільш повно показує сукупний вплив пружності, міц-

ності та пластичності, як опір матеріалу механічній дії. Збільшення цього показника відповідно до методик, розроблених в ІПМ НАН України, свідчить про істотне здрібнення структури зміцненого шару. Величина коефіцієнта питомої контактної твердості H_{μ}/E^* , що дорівнює 0,0591, відповідає матеріалам наноструктурного класу (розмір зерен в межах 100 нм).

На підставі виконаних досліджень стає очевидним, що метод поверхневого зміцнення високошвидкісним тертям дає змогу отримати наноструктури на нормалізованих середньовуглецевих сталях. Цим пояснюються високі експлуатаційні показники зміцнених поверхонь.

Висновки:

1. Запропонований спосіб використання зміцнення високошвидкісним тертям дає змогу отримати зміцнений шар, що належить до структур нанокласу, а сам метод зміцнення – до нанотехнологій.
2. Сучасна методика автоматичного мікроіндентування дає змогу з високою точністю визначити широкий спектр фізико-механічних характеристик матеріалів.

Література

1. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов / В.В. Рыбин. – М. : Изд-во "Металлургия", 1986. – 224 с.
2. Кірик М.Д. Декл. пат. на кор. модель 45685 Україна, МПК В23В 17/00 В24В 39/00. Спосіб фрикційного зміцнення / М.Д. Кірик, А.С. Рудь; заявник та власник патенту НЛТУ України, № 20040403029; заявл. 05.05.2009; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22.
3. Кірик М.Д. Обґрунтування доцільності виготовлення ножів з конструкційної сталі для різання деревини / М.Д. Кірик, Ю.Р. Капраль // Вісник харківського НТУ ім. Петра Василенка : зб. наук. праць. – Харків. – 2012. – Вип. 123. – С. 3-8.
4. Никифорчин Г.М. Наноструктурне поверхнєве зміцнення конструкційних сталей високошвидкісним тертям / Г.М. Никифорчин, В.І. Кирилів, Н.В. Крет, В.А. Волошин // Наукові нотатки : міжвузівський зб. (за напрямом "Інженерна механіка"). – Луцьк : Вид-во ЛНТУ. – 2007. – Вип. 20. – С. 325-330.
5. Фирстов С.А. Предельные деформации и напряжения в наноматериалах / С.А. Фирстов, В.Ф. Горбань, Э.П. Печковский // Харьковская нанотехнологическая ассамблея : сб. докл. – Т. II. Наноматериалы – новые фавориты индустрии. – 2008. – Харків, 2008. – С. 145-153.

Голубец В.М., Кірик Н.Д., Капраль Ю.Р., Рудь А.Е. Физико-механические характеристики упрочненного высокоскоростным трением наноструктурного слоя на стали 45

Проведен анализ работ по упрочнению низколегированных и конструкционных сталей высокоскоростным трением. Представлены результаты идентификации структурного состояния материалов методом автоматического индентирования. Исследованы физико-механические характеристики стали 45 с упрочненным слоем, полученным обработкой высокоскоростным трением.

Holubets' V.M., Kiryk M.D., Kapral' Yu.R., Rud' A.E. Physic and mechanical properties of nanostructured layer on steel 45 strengthened by high speed friction

The analysis of works devoted to the strengthening of low doped and structural steels, reinforced high-speed friction is conducted. The results identify the structure of the materials by automatic inductivity is made in the paper. The physic and mechanical properties of steel 45 with hardened layer obtained by processing high speed friction are investigated.