

УДК 536.7
© 2013

О.Ю. БЕРЕЗА,

доктор фізико-математичних наук

ВПЛИВ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ДІЇ НА СТРУКТУРУ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ

Досліджено вплив високошвидкісного нагріву й охолодження на структуру борованих робочих поверхонь деталей сільськогосподарської техніки, які працюють в умовах інтенсивного зносу. Показано, що зміна часу обробки струмами високої частоти дає можливість отримувати різні структури поверхні. Визначено умови формування оптимального фазового складу і структури.

Проблема підвищення зносостійкості поверхні дуже гостро стоїть щодо деталей сільськогосподарської техніки, які в багатьох випадках працюють у складних умовах абразивного зношування, наприклад при попаданні в робочу зону частинок ґрунту, який є абразивним середовищем.

Традиційними і найбільш поширеними в промисловості є поверхнева термічна обробка з використанням нагріву струмами високої частоти [1], методи, пов'язані з поверхневим насиченням різними елементами, поверхневим напорошенням з використанням різних сучасних технологій [2, 3], з обробкою поверхні різними високоенергетичними джерелами [4, 5]. За останні роки розширюється використання різних видів хіміко-термічної обробки, оскільки цей спосіб зміцнення поверхні забезпечує формування різних за складом, структурою й властивостями дифузійних покриттів на сталях, чавунах та інших матеріалах [6–8]. Значне підвищення експлуатаційних характеристик виробів дає використання евтектичних боридних сплавів для отримання покриттів із високою зносостійкістю [9, 10]. Добре зарекомендувало себе електролізне борування, оскільки в результаті цього процесу формується найбільш рівномірний поверхневий шар, структура якого складається з боридів, що мають високу твердість та зносостійкість [11, 12]. Того ж часу одним з недоліків боридних покриттів є невисокі адгезійні властивості, внаслідок чого за складання умов зношування спостерігається сколювання поверхневого шару. Ефект сколювання значно посилюється із зростанням товщини боридного шару через відсутність його структурного зв'язку з матеріалом основи, що обмежує можливість отримання зміцнених шарів великої глибини.

Значне зростання експлуатаційних характеристик борованої поверхні можливе за умов розробки технологічних заходів, які дозволяють керувати фазовим складом і структурою поверхні.

Одним з об'єктів досліджень були швидкозношувані зірочки приводу робочих органів сільськогосподарської техніки, виготовлені зі сталі марки 40, які для зміцнення поверхні піддають гартуванню зубчастого вінця з нагрівом струмами високої частоти з подальшим низьким відпуском. Але така обробка за результатами проведених польових випробовувань не надає необхідної зносостійкості, через що деталі швидко виходять з ладу. Тому була запропонована більш ефективна комплексна обробка поверхні: борування з подальшою високошвидкісною термічною обробкою. Така пропозиція подвійної обробки поверхні була цікавою і з тієї точки зору, що високоенергетична дія при гартуванні з нагрівом струмами високої частоти, безумовно, повинна була вплинути на формування структури боридних шарів й підвищення механічних властивостей поверхні.

Електролізне борування модельних зразків та серійних виробів проводили в розплаві бури при температурі 1133–1173 К й густині струму 20 А/дм². Термін борування складався з однієї години електролізу і однієї години відпалу.

Гартування з нагрівом струмами високої частоти здійснювали за виробничих умов на машинному генераторі, дотримуючись стандартної технології гартування СВЧ при варіюванні часу термічної обробки 8–20 с.

Дослідження формування боридного шару, його твердості й глибини проводили

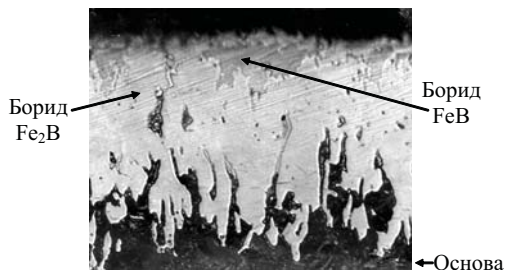


Рис. 1. Мікроструктура поверхнього шару при $\tau_{\text{СВЧ}} = 8 \text{ с}$; $\times 500$

на модельних зразках, які забезпечували різну швидкість нагрівання і охолодження. Металографічні дослідження борованих зразків, загартованих за серійним режимом ($\tau_{\text{СВЧ}} = 8 \text{ с}$), показали, що за всім профілем зубця спостерігається достатньо рівномірний дифузійний шар, що складається з боридів Fe_2B і FeV , які розділяються за кольором після травління ніталем (рис. 1). На самій поверхні проявляється шар монобориду FeV , голчасті кристали якого дещо темніші. Кількість монобориду становить 10–15 %. На наведеній мікрофотографії також видно, що формування кристалів боридів відбувалося в напрямку відведення тепла, тобто перпендикулярно до поверхні зразка. Далі знаходиться шар Fe_2B , кристали якого також мають голчасту форму й вриваються в матрицю (рис. 2).

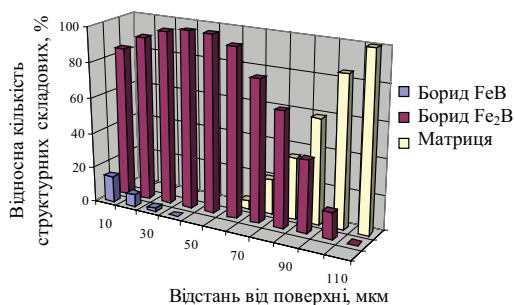


Рис. 2. Зміна фазового складу поверхнього шару при $\tau_{\text{СВЧ}} = 8 \text{ с}$

Вимірювання загальної глибини борованого шару на установці “Eriquant” свідчило про те, що на вершині зубця глибина шару досягала $80 \pm 8 \text{ мкм}$, а в міру просування до основи зубця вона дещо знижувалася ($60 \pm 5 \text{ мкм}$). Таке явище можна пояснити ефектом екранування, що виникає при боруванні ви-

робів складного профілю. Взагалі шар боридів мав достатню рівномірність при орієнтації кристалів у напрямку тепловідводу. Зауважимо, що використання даного режиму комплексної зміцнюючої обробки не усунуло недолік борованих поверхонь, бо в процесі обробки через значні напруження іноді спостерігали сколювання боридного шару.

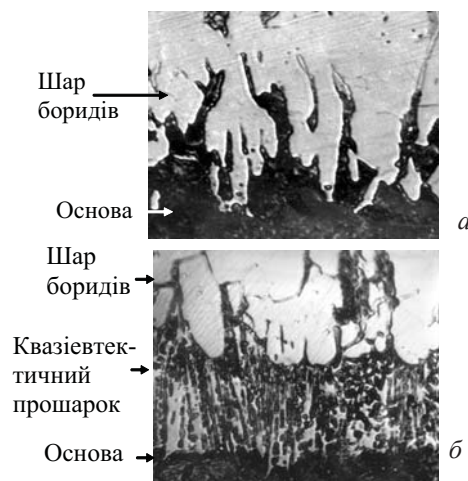


Рис. 3. Мікроструктура поверхнього шару при $\tau_{\text{СВЧ}} = 12 \text{ с}$: а – на вершині зубця; б – у сідловині зубця $\times 600$

Збільшення часу нагрівання СВЧ до 12 с спричинило значну зміну структури й фазового складу боридного шару. На вершині зубця при збереженні голчастої структури дифузійного шару (рис. 3,а) практично відсутній моноборид. Загальна глибина боридного шару не перевищувала $70 \pm 7 \text{ мкм}$. Дослідження структури бокової поверхні сідловини зубця, в якій відбувається найбільш інтенсивне зношування, виявили суттєві морфологічні зміни: між шаром боридів та матрицею з’явилася нова двофазна зона (рис. 3,б), морфологія якої нагадувала евтектичну, тобто мала квазіевтектичну колоніальну будову. Зростання бікристалітних колоній відбувалося в напрямку тепловідводу, про що свідчить спрямованість колоніальної зони впоперек поверхні. Поява такої зони свідчила про ефект контактного плавлення на межі борид–матриця, внаслідок якого на міжфазній межі утворився рідкий прошарок. У подальшому швидкість охолодження пере-

охлажденної рідини перевищила критичну швидкість квазіевтектичної кристалізації, у результаті чого утворилася композиційна колоніальна структура, при формуванні якої провідною фазою був борид Fe_2B , а веденою фазою – твердий розчин на основі заліза, тобто основа (рис. 4).

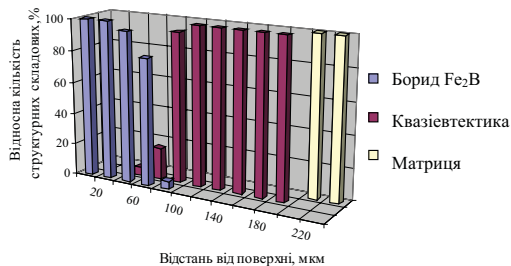


Рис. 4. Зміна фазового складу поверхневого шару в сідловині зубця зірочки при $\tau_{СВЧ} = 12$ с

Збільшення часу обробки СВЧ до 16 с стало причиною формування квазіевтектичного прошарку вже на боковій поверхні зубця зірочки, а в зоні основи досягав 110 ± 10 мкм, товщина боридного шару значно зменшувалася до 60 мкм й була надана тільки боридами Fe_2B . Значні структурні зміни відбулися в сідловині, де спостерігали формування доквазіевтектичної зони та відсутність боридного шару (рис. 5, 6). Указані морфологічні зміни пояснюються початком інтенсивних процесів деборування поверхні виробу, що розвиваються саме зі сідловини зубця зірочки. Якщо при тривалості обробки СВЧ 16 с зону з надлишковими кристалами твердого розчину і квазіевтектикою було видно тільки в сідловині зубця (рис. 5, б), то зростання $\tau_{СВЧ}$ до 20 с спричинило значне деборування

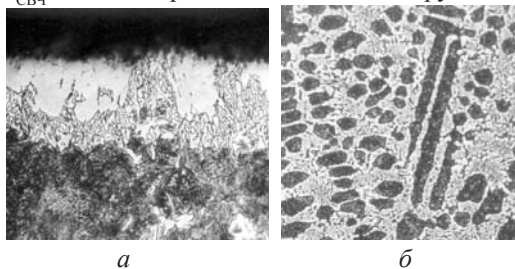


Рис. 5. Мікроструктура вершини (а, $\times 250$) і сідловини зубця (б, $\times 600$) при $\tau_{СВЧ} = 16$ с

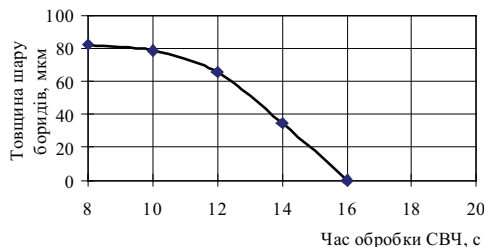


Рис. 6. Вплив часу обробки СВЧ на товщину боридного шару в сідловині зубця зірочки

та оплавлення поверхні, про що свідчила наявність зони з надлишковими кристалами та квазіевтектикою на поверхні зубця (рис. 7). При цьому кількість кристалів твердого розчину значно зросла, кількість же квазіевтектичної складової структури – зменшилась.

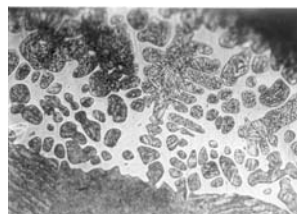


Рис. 7. Мікроструктура поверхні зубця при $\tau_{СВЧ} = 20$ с $\times 600$

Таким чином, час високоенергетичної дії значно вплинув на фазовий склад й характеристики структури борованої поверхні (рис. 8 і 9).

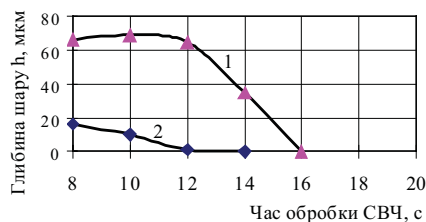


Рис. 8. Вплив часу обробки СВЧ на кількість боридів за глибиною поверхневого шару: 1 – борид Fe_2B ; 2 – борид FeB .

Шар боридів зазнав значних змін. Перше, це стосується фазового складу борованої поверхні: зростання часу обробки СВЧ різко зменшило кількість монобориду та спричинило його практично повну відсутність при $\tau_{СВЧ} > 14$ с. З одного боку, шар бориду Fe_2B втрачав свою суцільність при $\tau_{СВЧ} > 16$ с, з іншого – при зростанні часу об-

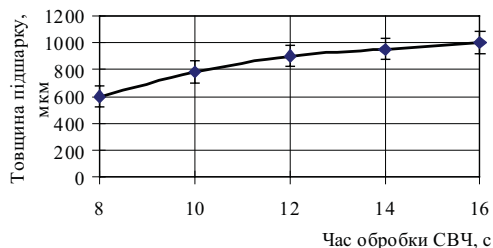


Рис. 9. Вплив часу обробки СВЧ на товщину підшарку

робки СВЧ значно збільшувалась і товщина підшарку (рис. 9).

Аналіз отриманих результатів дослі-

джен дає можливість зробити висновок: високоенергетична дія при нагріві струмами високої частоти має суттєвий вплив на формування фазового складу і структури зносостійких боридних покриттів. За певного часу обробки поверхні швидкоосрацьовуваних зірочок виникає ефект контактного плавлення, через який у разі подальшого охолодження формується прошарок, який структурно зв'язує боридний шар і основу деталі, унеможливує сколювання твердої і зносостійкої поверхні при значній товщині боридного шару. Проведені дослідження дають можливість вибрати оптимальні режими запропонованих обробок.

Бібліографія

1. Термическая обработка с использованием индукционного нагрева на Минском тракторном заводе / Л.С. Космович, В.С. Баранов, К.Н. Кошелев, Л.Я. Фельдман // МИТОМ. – 1987. – № 3. – С. 19–23.
2. Кухарев Б.С. Применение химико-термической обработки в промышленности / Б.С. Кухарев, Е.И. Соколовский // МИТОМ. – 1987. – № 3. – С. 2–6.
3. Перспективность методов сверхбыстрого охлаждения для дальнейшего развития физики неравновесного состояния / В.Ф. Башев, Ф.Ф. Доценко, С.І. Рябцев [та ін.] // Вісник Дніпропетровського держуніверситету. – Дніпропетровськ, 1998. – Вип. 1. – С. 4–12. – (Сер.: Фізика. Радіоелектроніка).
4. Шмырева Т.П. Быстроохлажденные эвтектические сплавы / Т.П. Шмырева, Е.Ю. Береза. – К. : Наукова думка, 1990. – 144 с.
5. Разработка детонационных плазменных и электроискровых покрытий / Т.П. Шмырева, А.П. Мухин, Е.Ю. Береза [та ін.] // Материалы научно-технического семинара “Новые стали и сплавы, режимы их термической обработки”. – Л. : ЛДНТП, – 1991. – С. 97–98.
6. Овруцкий А.М. Кинетика формирования боридных фаз при электролизном борировании / А.М. Овруцкий, И.М. Спиридонова // Физика и химия обработки материалов. – 1983. – № 3. – С. 14–16.
7. Лахтин Ю.М. Поверхностное упрочнение сталей и сплавов / Лахтин Ю.М. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1988. – № 11. – С. 14–24.
8. Фазовый состав и свойства защитных диффузионных покрытий на основе бора, полученных в виброкипящем слое / А.С. Заваров, С.В. Грачев [и др.] // Изв. Вузов. – 1992. – № 2. – С. 96–99. – (Сер.: Черная металлургия).
9. Коган Я.Д. Перспективы развития технологий поверхностного упрочнения материалов деталей машин и инструмента / Я.Д. Коган // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1993. – № 8. – С. 5–9.
10. Ворошин Л.Г. Борирование стали / Ворошин Л.Г., Ляхович Л.С. – М. : Мет., 1978. – 240 с.
11. Спиридонова И.М. Управление структурой и свойствами упрочненной зоны при насыщении в борсодержащих средах / И.М. Спиридонова, В.П. Бодриков // Тез. Докл. 1 науч.-техн. конф. “Поверхностные термические технологии”. – Варна. – 1989. – С. 332–334.
12. Воробьев Г.М. Усовершенствование технологии электролизного борирования с использованием целенаправленного текстурирования / Г.М. Воробьев, Л.А. Соколова // Тез. докл. 1 научн.-техн. конф. “Поверхностные термические технологии”. – Варна. – 1989. – С. 328–332.

Рецензент – доктор технічних наук, професор С.С. Тищенко