

О. П. Гапонова, к.т.н., доцент, В. О. Охріменко, С. В. Марченко к.т.н., доцент, (Сумський державний університет, м. Суми, Україна), В. О. Герасименко, к.ф.-м.н., доцент (Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна), О. М. Мисливченко к.т.н., науковий співробітник (Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ, Україна)

Дослідження структури та властивостей дифузійних покриттів на інструментальних сталях після бороміднення та борохромування

У роботі подано аналіз методів отримання комплексних боридних покриттів. Запропоновано з метою отримання якісних зносостійких шарів проводити борохромування та бороміднення. Досліджені особливості структуроутворення, фазовий склад і властивості отриманих покриттів. Встановлено, що мідь та хром у дифузійному шарі знижують крихкість покриття, підвищують зносостійкість, порівняно з класичною технологією боридування.

Ключові слова: боридування, бороміднення, борохромування, дифузійне покриття, структура, фазовий склад, мікротвердість, зносостійкість

В работе представлен анализ методов получения комплексных боридных покрытий. Предложено с целью получения качественных износостойких слоев проводить борохромирование и боромеднение. Исследованы особенности структурообразования, фазовый состав и свойства получаемых покрытий. Установлено, что медь и хром в диффузионном слое снижают хрупкость покрытия, повышают износостойкость по сравнению с классической технологией борирования.

Ключевые слова: борирование, боромеднение, борохромирование, диффузное покрытие, структура, фазовый состав, микротвердость, износостойкость

The paper presents an analysis of methods for obtaining complex boride coatings. It was proposed to carry out borochromium and borocopperplating in order to obtain high-quality wear-resistant layers. The features of structure formation, the phase composition and properties of the coatings obtained are investigated. Determined, that copper and chromium in the diffusion layer reduce the brittleness of the coating, increase the wear resistance in comparison with the classical boriding technology.

Key words: boriding, borocopperplating, borochromium, diffuse coating, structure, phase composition, microhardness, wear resistance

Постановка проблеми в загальному вигляді

При експлуатації деталей машин і інструменту найбільш інтенсивно зовнішнім впливам піддаються їх поверхневі шари, тому саме структура і властивості поверхневих шарів відповідають за працездатність виробів. На сьогодні існує безліч способів зміцнення поверхні: лазерне зміцнення, наплавлення, зміцнення за рахунок пластичної деформації, застосування різних технологій нанесення покриттів. Однак застосування даних технологій вимагає використання складного, часто унікального, дорогого і енергоємного обладнання, дорогих зміцнюючих сплавів, висококваліфікованого персоналу.

Тому особливий інтерес представляє розробка методів зміцнення деталей машин і інструменту за рахунок дифузійного насичення поверхні металів і сплавів різними хімічними елементами, метод хіміко-термічної обробки (ХТО). Борування є одним з найбільш перспективних методів ХТО, так як серед відомих дифузійних покриттів саме формування боридного шару забезпечує значне підвищення зносостійкості, теплостійкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо, що основним недоліком дифузійних боридних шарів є їх підвищена крихкість, що обмежує широке застосування цієї технології поверхневого зміцнення на підприємствах. Однак дослідження показали, що додавання до борирувальної суміші хрому, титану, кремнію тощо сприяє зменшенню крихкості покриттів, що значно збільшує термін служби виробів. Отримання комплексних боридних покриттів – перспективний метод поверхневого зміцнення, що потребує серйозних досліджень. Будова шарів істотно залежить від складу насичувальної суміші, від способу борування, температури і тривалості процесу, від складу сталі. Всі ці фактори впливають на кінцевий результат і визначають фізико-механічні властивості поверхневого шару після борування.

Мета роботи – дослідження структуроутворення, фазового складу, властивостей та зносостійкості комплексних боридних покриттів після борохромування та бороміднення.

Виклад основного матеріалу досліджень

Методика дослідження

Для досліджень обрані дві марки інструментальних сталей: вуглецева У8 та легована ХВГ.

Борування проводили у трьох заздалегідь підготовлених сталевих контейнерах. Зразки завантажували до контейнерів та засипали підготовану суміш. При цьому відстань між зразками та стінками контейнеру складала не менше 20 міліметрів. Контейнер закривали кришкою та ізолювали плавким затвором (зі скла). Процес проводили у лабораторній шахтній печі при температурі 900°C із витримкою 4 години.

Насичення проводили у наступних сумішах:

1. Класичне борування проводили за технологією поданій у [1].
2. Борохромування: технічний карбід бору, ферохром, окис алюмінію та фторопласт-4.
3. Бороміднення: технічний карбід бору, фторопласт-4, окис алюмінію та порошок міді.

Після борування контейнери охолоджували з пиччо до кімнатної температури. Після охолодження зразки діставали із контейнерів.

Мікроаналіз проводили на металографічному мікроскопі МІМ-7 при збільшеннях 50-500 разів. З метою зменшення сколів покриття зразки заливали легкоплавким сплавом в оправу і проводили шліфування, полірування та травлення мікрошліфів 3-5% розчином азотної кислоти.

Під час дослідження мікроструктури проводили дюрOMETричні дослідження на приборі ПМТ-3 при навантаженні 0,5...0,99 Н. Точність вимірювань ± 250 МПа.

Рентгеноструктурний аналіз проводили в монохроматичному $\text{CuK}\alpha$ випромінюванні, на дифрактометри

PROTOAXRD, який має точковий кремнієвий детектор (SPD). Дифрактограми знімали методом шагового сканування. Крок сканування складав $0,05^\circ$, час експозиції у точці – 2 секунди. Обробку експериментальних даних виконали за допомогою програми для повно-профільного аналізу рентгенівських спектрів від суміші полікристалічних фазових складових Powdercell 2.4. Через багатофазність і накладання ряду піків їх розділ проводили шляхом апроксимації дифракційних максимумів функцій Pseudo-Voigt2. Методом найменших квадратів досягали найкращого співпадання експериментального та апроксимального профілів з урахуванням повторюваності $\text{CuK}\alpha$ -випромінювання.

Дослідження зносостійкості виконували на машині випробувань на тертя СМТ-1. Випробування проводилося згідно ГОСТу 23208-79. Абразивним матеріалом слугував кварцовий пісок. Випробування проводили на

зразках, при частоті обертання $n=60\pm 2$ об/хв (всього 600 обертів на кожний зразок), та навантаження $44,1\pm 0,25\text{Н}$.

Результати досліджень.

Мікроструктурний аналіз показав, що класичні боридні шари, отримані без додавання присадок до насичувальної суміші, складаються з зерен боридних фаз голчатої форми, що щільно прилягають один до одного та формують суцільний, однорідний боридний шар, товщина якого 100–200 мкм.

Отримані за даною технологією комплексні боридні покриття подібно до класичних боридних покриттів мають голчасту структуру з чітко вираженою межею поділу покриття-основа (рис. 1, 2). Голки боридів, котрі нормально орієнтовані до поверхні зразка, вклинаються в перлітні зерна основи. Однак, характер розташування та форма структурних складових, товщина шару відмінні.

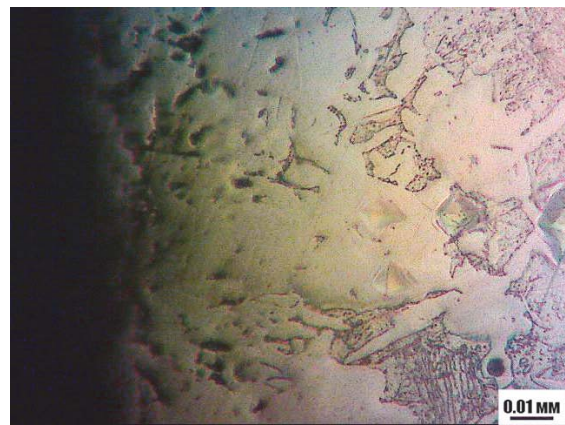
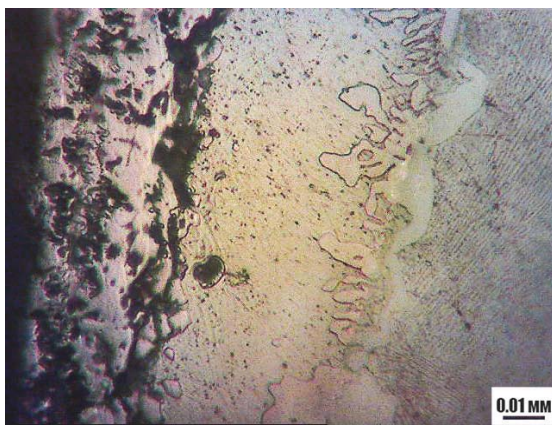


Рис. 1. Мікроструктура боридних покриттів на сталі У8: (а – борохромовання; б – бороміднення)

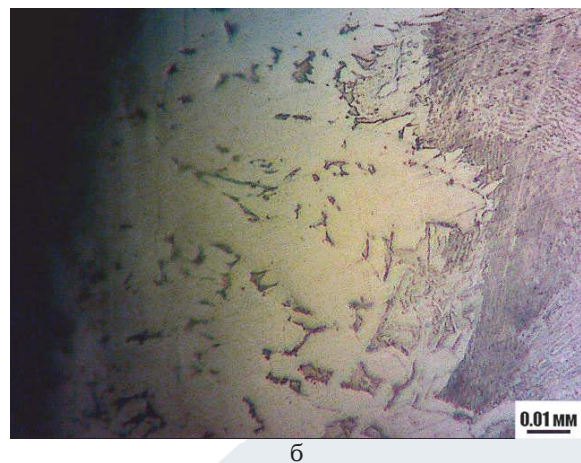
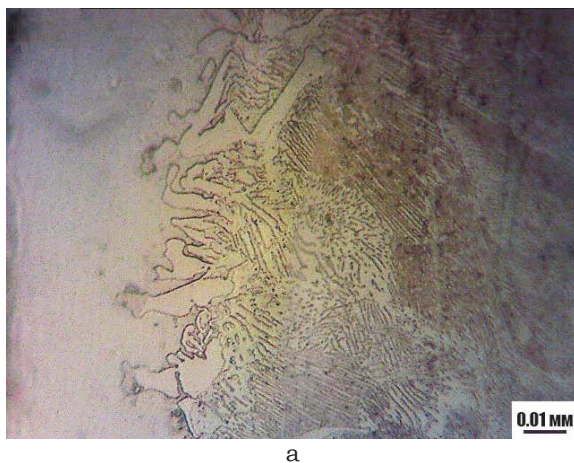


Рис. 2. Мікроструктура боридних покриттів на сталі ХВГ: (а – борохромовання; б – бороміднення)

Після борохромовання боридні голки дещо заокруглені. Очевидно, подібний вплив хрому на форму структурних складових пояснюється тим, що хром розчиняється у боридних фазах і зменшує об'єм ромбічної комірки боридів заліза. Основний внесок у зменшення об'єму елементарної комірки, за думкою авторів [3], вносить зміна параметра «С».

Покриття після бороміднення щільніші, ніж після борирування та борохромовання. Можливо, дифузія міді сприяє зменшенню пор у покритті [4].

ДюрOMETричні дослідження показали, що шари після борохромовання мають максимальну мікротвердість поверхні ~ 16 ГПа для сталі У8 та ~ 19 ГПа для ХВГ, після бороміднення – ~ 10,9 ГПа для сталі У8 та ~ 14 ГПа для ХВГ, дані показники нижчі за твердість боридного шару при класичній технології насичення. Можливо, що зменшення твердості шару при борохромованні

пов'язане з легуванням хромом не тільки цементиту, а і боридів $(\text{Fe}, \text{Cr})\text{B}$ та $(\text{Fe}, \text{Cr})_2\text{B}$.

Склад сумішей впливає і на глибину дифузійного шару. Після борохромовання покриття були від 80 до 119 мкм, а після бороміднення 130–150 мкм на сталях ХВГ та У8. Отже мідь сприяє дифузії бору вглиб сталі.

Для дослідження фазового складу отриманих комплексних боридних покриттів їх піддавали рентгеноструктурному аналізу. Характерні ділянки дифрактограми показані на рис. 4.

На сталі ХВГ після бороміднення (рис. 4 а) фіксується тільки наявність бориду Fe_2B . Фазоутворення боридного покриття на сталі У8 йде за складнішим механізмом. Концентрація міді в покритті з урахуванням значення інтенсивності її дифракційних ліній була приблизно оцінена у 3 %.

Дифрактограми зняті з поверхні зразків сталі ХВГ

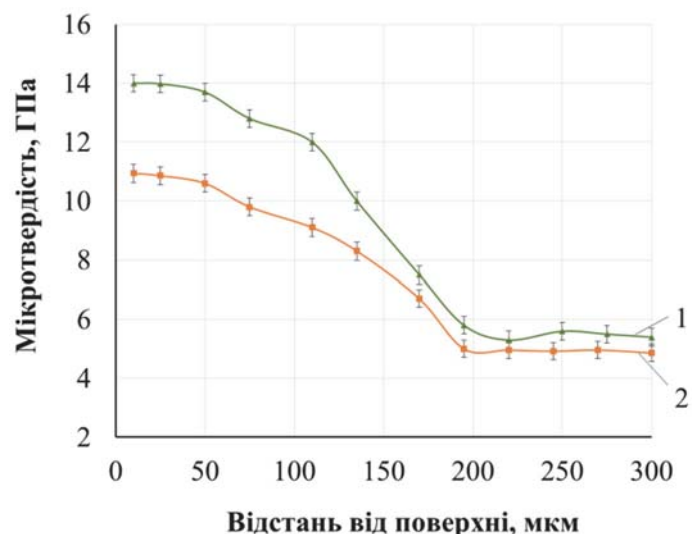
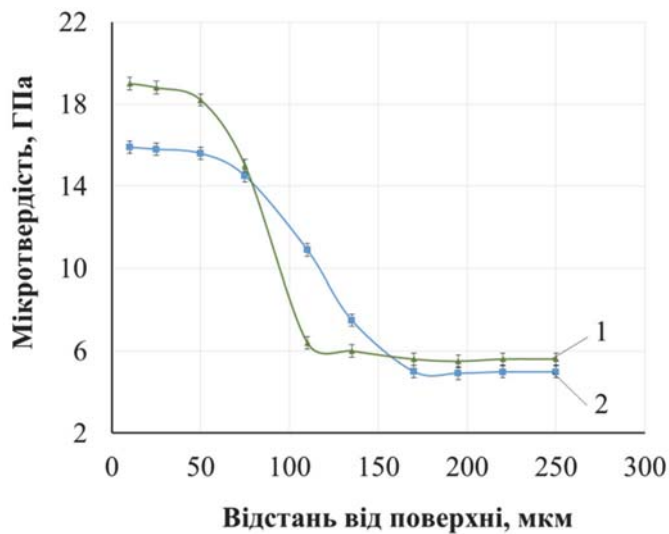


Рис. 3. Мікротвердість боридних шарів:
а – борохромування; б – бороміднення; 1 – сталь ХВГ; 2 – сталь У8

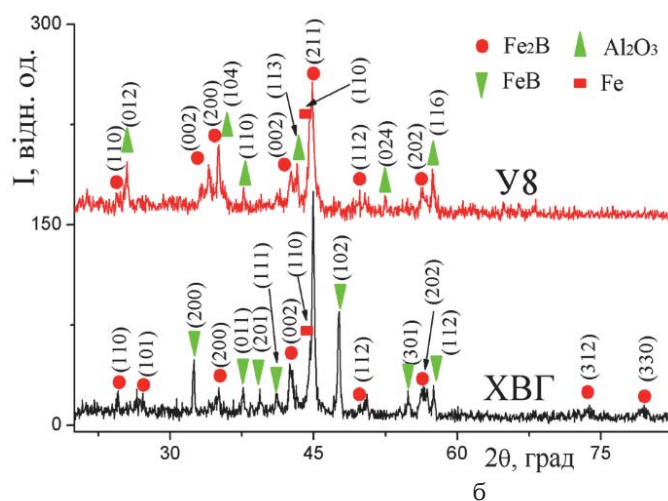
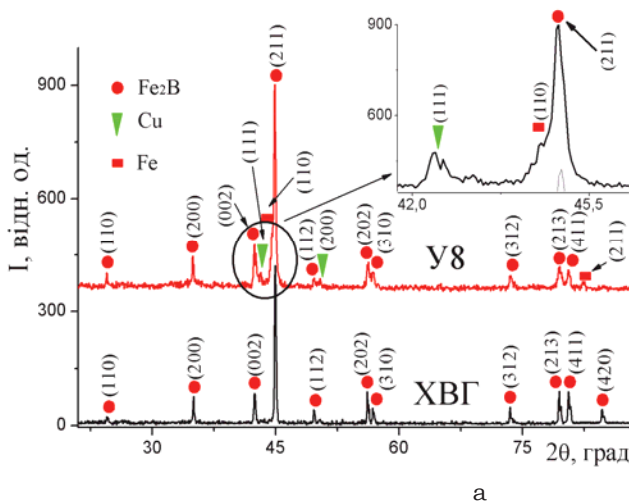


Рис. 4. Дифрактограми зняті з поверхні сталей У8 та ХВГ після:
а – бороміднення; б – борохромування

після борохромування вказують на наявність дифракційних максимумів наступних фаз (рис. 4 б): FeB (28 %); Fe₂B (33 %); Fe (39%). Борохромування сталі У8 призводить до утворення на її поверхні бориду Fe₂B, корунду.

Як показали дослідження, при класичному боридуванні утворюється борид FeB, який забезпечує підвищення твердості та крихкості шару. При комплексному боридуванні утворюється значна кількість Fe₂B, який характеризується меншою крихкістю за FeB. Утворення бориду Fe₂B пояснює зниження твердості поверхневого шару після борохромування і бороміднення (рис. 3). Крім того, в поверхневому шарі сталі У8 зовсім не утворюється бориду FeB, що обумовлює отримання значно нижчих показників твердості, порівняно зі сталлю ХВГ після досліджуваних процесів ХТО.

Дослідження на абразивну зносостійкість покриттів показали, що бор-мідні та бор-хромові дифузійні покриття, мають кращі триботехнічні характеристики порівняно з класичним боридуванням (рис. 5).

Так, відносна зносостійкість бор-мідних покриттів $K_{Cu} = 4,09$ і $K_{Cu} = 4,46$ на сталі У8 і ХВГ відповідно, бор-хромових – $K_{Cr} = 3,65$ і $K_{Cr} = 3,75$ для У8 і ХВГ відповідно. Отже стійкість до абразивного зносу сталей У8 і ХВГ після бороміднення збільшується у 1,3-1,5 рази, порівняно з покриттями, отриманими за класичною технологією.

Як показали дослідження, незважаючи на більш низьку твердість бор-мідних покриттів порівняно з бор-

хромовими (рис. 3), їх зносостійкість вища. Можна припустити, що після бороміднення мідь, що наявна в покритті у вільному вигляді (рис. 4), виступає в якості твердого мастила, зменшує коефіцієнт тертя, підвищує стійкість до абразивного зношування.

Висновок

Отже, боридування є однією із найперспективніших технологій ХТО, але через високу твердість боридного покриття воно володіє високою крихкістю. Тому доцільно застосовувати комплексне боридування.

Нами показано, що бор-мідні та бор-хромові покриття можна застосовувати для підвищення зносостійкості інструментальних сталей.

Мікроструктурний аналіз отриманих покриттів показав, що бор-мідні та бор-хромові шари подібно до класичних боридних покриттів мають голчасту структуру з чітко вираженою межею поділу покриття-основа. Після борохромування боридні голки мають дещо заокруглений характер, ніж після боридування та бороміднення.

Борохромовані шари мають мікротвердість поверхні 16-19 ГПа, а боромідні – 10,9-14 ГПа, що дещо нижче твердості боридного шару при класичній технології насичення (~ 20 ГПа). Після борохромування отримали шар товщиною 80-110 мкм, тоді як після бороміднення – 130-150 мкм. Отже мідь сприяє дифузії бору вглиб сталі.

Рентгеноструктурним аналізом встановлено, що

при класичному борюванні утворюється борид FeB, який забезпечує підвищення твердості та крихкості шару. При комплексному борюванні утворюється значна кількість Fe₂B, який характеризується меншою крихкістю за FeB. Утворення бориду Fe₂B пояснює зниження твердості поверхневого шару після борохромування і бороміднення.

Дослідження на абразивну зносостійкість показали, що бор-мідні та борхромові дифузійні покриття, мають кращі триботехнічні характеристики порівняно з класичним борюванням. Стійкість до абразивного зносу сталей У8 і ХВГ після бороміднення збільшується у 1,3-1,5 рази, порівняно з покриттями, отриманими за класичною технологією.

Список літератури:

1. Ворошин Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунок / Л. Г. Ворошин. – Мн.: Беларусь, 1981. – 205 с.
2. Минкевич А. Н. Химико термическая обработка. Монография. – 2-е изд., перераб. и доп. / А. Н. Минкевич. – М.: Машиностроение, 1965. – 490 с.
3. Влияние параметров борохромирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя / А.М.Гурьев, С.Г.Иванов, Б.Д.Лызде-

нов, О.А.Власова, Е.А.Кошелева, М.А.Гурьев, И.А.Гармаева // Ползуновский вестник. – 2007. – №3. – С. 28 – 34.

4. Крукович М. Г. Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. – М.: Физматлит, 2010. – 384 с.

5. Чернега С.М. Структура та властивості боридних покриттів легованих міддю на сталі 45 / С.М.Чернега, І.Ю.Медова, І.А.Поляков // Вісник СевНТУ. Механіка, енергетика, екологія. – 2013. – Вип. 137. – С. 265-269.

6. Чернега С. М. Підвищення зносостійкості поверхневих шарів металів та сплавів боридними покриттями за участю міді / С. М. Чернега, І. А. Поляков, І. Ю. Медова // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування : збірник наукових праць. – 2011. – № 61, т. 2. – С. 104–108.

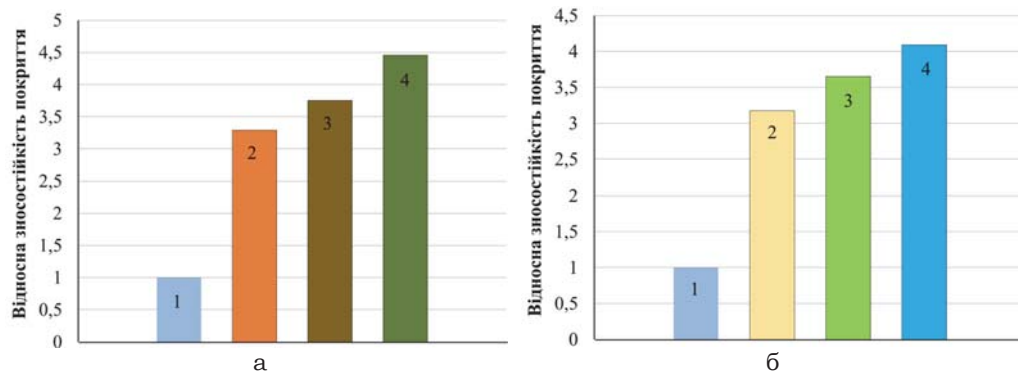


Рис. 5. Відносна зносостійкість комплексних боридних покриттів:
а – на сталі ХВГ; б – на сталі У8: 1 – еталон (відпалена сталь 45), 2 – борювання за класичною технологією, 3 – борохромування; 4 – бороміднення



ГРУППА КОМПАНИЙ «ОРЕЛКОМПРЕССОРМАШ»



Станция СГВ 315-20/0,5-25 У1 - УКПНГ «Бельск». Сбор газа из низконапорных скважин

Производительность до 100 000 м³/сутки
Давление на входе от 0,5 bar (изб.). Давление нагнетания до 25 bar (изб.)

Наши контакты:

Россия
г. Орел, ул. Цветаева, 1Б

тел.: +7 (4862) 42-11-57
E-mail: info@orelkompressormash.ru