

**Верещака І.В. НАДЕЖНОСТЬ КОМПОЗИТНЫХ И МЕТАЛОКОМПОЗИТНЫХ ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ ДЛЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ**

На основе модифицированного полиномиального критерия прочности для многослойных тонкостенных элементов, который пределы прочности анизотропного материала слоя на поперечный сдвиг и трансверсальное обжатие (отрыв), разработана методика оценки предельного состояния композитных и металлокомпозитных (комбинированных) газовых баллонов высокого давления. Сравнение стеклопластиковых и комбинированных баллонов по их предельному состоянию доказывает, что последние имеют ряд преимуществ – они менее деформативны, более надежные в эксплуатации и выигрывают в плане теплоизоляционных свойств. Вводя мягкий наполнитель между внутренней частью и обшивкой, удается достичь условий равнопрочной работы материала такой конструкции.

**Ключевые слова:** прочность, надежность, газовый баллон, композиционный материал.

**I. V. Vereshchaka RELIABILITY AND METALCOMPOSITE COMPOSITE GAS CYLINDERS FOR AUTOMOTIVE VEHICLES CONSTANT AGRICULTURAL MACHINERY**

Based on modified polynomial strength criterion for layered, thin-walled elements, which limits the strength of the anisotropic material layer in the transverse shear and transverse compression (separation), methods for estimation of limit state of composite and metalcomposite (combined) gas cylinders high pressure. Comparison of fiberglass and composite cylinders for their limit state proves that the latter have several advantages – they are less deformation, more reliable in operation and benefit in terms of insulating properties. Introducing the soft filler between the inner part and the casing, it is possible to achieve the conditions of durable material this design.

**Key words:** durability, reliability, gas cylinder, composite material.

Стаття надійшла в редакцію: 04.10.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Гецович Є.М.

УДК 621.785

**СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ БОРИДНИХ ПОКРИТТІВ ЛЕГОВАНИХ МІДДЮ ТА ХРОМОМ НА ІСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЯХ**

**О. П. Гапонова**, к.т.н., доц.;

**В. О. Охріменко**, студент

Сумський державний університет, Україна

В роботі поданий аналіз відомих методів отримання боридних покриттів, досліджень їх структури і властивостей. Представлені результати дослідження впливу складу борирувальної суміші на прикладі бороміднення та борохромування на структуру і властивості покриттів на сталях У8 та ХВГ. Встановлено, хром і мідь, зменшуючи твердість, знижують крихкість дифузійних шарів. Мідь, на відміну від хрому, сприяє дифузії бору вглиб сталі, що забезпечує формування щільних та рівномірних за товщиною покриттів.

**Ключові слова:** борирування, бороміднення, борохромування, дифузія, покриття, твердість, сталь.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.**

Підвищення стійкості деталей машин та інструментів за допомогою насичення поверхні металів та сплавів різними хімічними елементами є актуальною задачею сьогодення матеріалознавства. Хіміко-термічною обробкою (ХТО) виробам можна надати різних властивостей, яких об'ємним легуванням або неможливо (азотування, борирування), або економічно невігідно (хромування і т. д.) досягти.

На даний час існуючі методи ХТО поділяють на 4 групи: насичення в твердих, рідких, газових середовищах та плазмі. Технологічний процес ХТО в твердих та рідких середовищах, в пастах можна проводити в повітряній (окиснювальній) і контрольованій атмосферах або у вакуумі.

Для досягнення найбільшої твердості та

зносостійкості увагу привертає борирування, якому можна піддавати будь-які марки залізовуглецевих сплавів. Борирування є одним із найвідоміших методів обробки поверхні, який може забезпечити високий комплекс фізико-механічних властивостей. Цей процес дозволяє отримати покриття з високою твердістю (1800...2000 HV), зносостійкістю, корозійною стійкістю та жаростійкістю.

Процес зазвичай проводиться при температурі 900–950°C [1]. Використання високотемпературних методів ХТО, для покращення властивостей серцевини виробу потребують подальшої термічної обробки.

Промислове використання отримало борирування в порошкових сумішах, електролізне, в рідинах і в пастах.

Суміші для порошкового борирування зазвичай складаються із: порошоків бору (феробор,

карбід бору, аморфний бор, та інших), активаторів (NaF, KF, LiF), окису алюмінію ( $Al_2O_3$ ) [2]. Порошок насипають до контейнеру з товщиною між деталями не менше 20 міліметрів, контейнер герметизують.

До недоліків цього методу можна віднести те, що габаритні деталі неможливо насичувати в цей спосіб, затратний для велико-серійного та масового виробництва.

Один із перспективних видів насичення у твердому карбюраторі є борирування в пастах, яке дає можливість покращити робочі поверхні виробів різної форми і габаритів без використання спеціального обладнання. При цьому використовуються суміші різних складів. Насиченню піддають лише робочу поверхню виробу без насичення інших частин деталі.

Використовують також і борирування в рідкому середовищі. В розплавах:

- нейтральних солей (50%  $BaCl_2$  і 50% NaCl) з додаванням бору (феробор, карбід бору, аморфний бор, та інших);
- боратів ( $Na_2B_4O_7$ ) з додаванням відновників;
- боратів з додаванням хімічно активних металів.

Переваги цього методу:

- рівномірний і повністю дифузійний шар;
- вироби для борирування можуть бути різних конфігурацій.

Недоліки процесу:

- необхідність очищення поверхні від залишку насичуючого середовища;
- низька стійкість тиглів, покриттям притаманні висока шорсткість;
- структурна крихкість отриманих покриттів (боридів заліза), особливо при борируванні в розплавах деяких солей.

Газове борирування проводять в спеціальних герметичних печах. Деталь поміщають до печі, в яку з заданою швидкістю подається газова суміш (діборан, трихлорований бор).

До недоліків відносять токсичність і агресивність борвмісних газів, важкість їх герметизації і високу вартість. Для цього методу також необхідне спеціальне обладнання. Тому газове борирування застосовують при велико-серійному або масовому виробництві і зазвичай це габаритні або деталі дуже складної конфігурації.

Отже, борирування є перспективною технологією хіміко-термічної обробки. Його застосовують для підвищення зносостійкості, твердості, корозійної стійкості та інших властивостей. Єдиним обмеженням, що перешкоджає його широкому застосуванню, є низька пластичність борированого шару, яка утруднює застосування борирування для зміцнення поверхонь деталей, що працюють в умовах знакозмінних навантажень, а також, що зазнають в процесі роботи механічних чи термічних ударів [3].

Цей дуже перспективний метод поверхне-

вого зміцнення потребує серйозних систематичних дослідженнях як теоретичного, так і прикладного характеру. У проблемі борирування досить багато відкритих питань. Такий стан не дозволяє мати повне уявлення про процеси борирування в цілому і не дає можливості наукового управління ним. Будова боридних шарів істотно залежить від складу насичуючої суміші, від способу борирування, від температури і тривалості процесу, від складу сталі. Всі ці фактори впливають на кінцевий результат і визначають фізико-механічні властивості поверхневого шару після борирування.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Процеси отримання боридних покриттів є перспективними, оскільки вимагають використання менш складного обладнання і підвищують зносостійкість в умовах тривалої експлуатації зміцнених виробів. Особливістю боридного шару є велика твердість, що зберігається при високих температурах, і значно підвищує довговічність деталей, що працюють в умовах термомеханічних впливів і абразивного зносу [2].

Процес борирування дозволяє отримати твердість і зносостійкість вище, ніж при проведенні класичних цементації і азотування. Однак основним недоліком боридних шарів, перш за все, є їх підвищена крихкість. Доведено, що при високих навантаженнях відбувається викришування зміцненого боридного шару, яке приведе до втрати працездатності деталі в цілому.

Крихкість борированого шару визначається багатьма факторами, у тому числі електронною будовою фаз, співвідношенням боридних фаз ( $FeB$ ,  $Fe_2B$ ) в шарі, морфологією боридів, напруженим станом і т.п. Вона також залежить від суцільності шару боридів на зміцнювальній поверхні [3].

Ефективними шляхами зниження крихкості боридних шарів є їх оптимальне мікрولةгування і створення сприятливого напруженого стану. Легувальні елементи чинять істотний вплив як на кінетику формування боридних шарів, так і на будову, фазовий склад і властивості. Наприклад, деякі з них можуть підвищувати пластичність, але суттєво знижувати твердість (мідь, титан) [4], майже не впливати на твердість, але зменшувати крихкість поверхні (хром, нікель).

При модифікуванні поверхневого шару та підшару молібденом та нікелем, забезпечується висока твердість, збільшується опір до крихкого руйнування, підвищується зносостійкість у широкому діапазоні температур [5].

Позитивно на поверхневий шар може впливати легування його міддю. Вона значно знижує крихкість покриття, підвищує його пластичність, покращує антифрикційні властивості, підвищує товщину шару, і майже не впливає на твердість покриття [6, 7].

Якщо при борируванні до шихти додати по-

рошок олов'яної бронзи, то досить сильно зростає пластичність покриття, збільшується товщина дифузійного шару, значно зменшується його крихкість [8].

На товщину і властивості боридних шарів істотний вплив чинить вміст вуглецю і ступінь легуваності сталі. Відомо [2], що зі збільшенням вмісту вуглецю товщина шару зменшується. У тому самому напрямку діє і збільшення вмісту легувальних елементів в сталі. Тому для отримання оптимальних за товщиною шарів, що характеризуються високою щільністю та твердістю застосовуються низьколеговані або вуглецеві сталі [1, 2].

Такий елемент як хром при його низькій концентрації в сталі може покращувати дифузію бору в сталь. Але при його вмісті більше ніж 0,5% він досить сильно зменшує товщину боридного шару. З підвищенням температури насичення негативний вплив хрому зростає [1]. Марганець незначно знижує товщину дифузійного шару і сприяє його окрихчуванню.

Вольфрам та молібден сильно знижують товщину боридного шару. При введенні хоча б одного з них знижується як загальна товщина шару, так і товщина боридного шару. Молібден дещо ускладнює боридні голки, а вольфрам на них не впливає. Молібден зменшує швидкість дифузії бору в аустеніті, товщину перехідної зони та концентрацію в ній бору. Але позитивним є те, що легування цими елементами зменшують ріст зерна в перехідній зоні [4].

**Мета роботи.** Проведені дослідження ставили за мету визначити вплив хімічного складу суміші для борирування на мікроструктуру і властивості шару сталей У8 та ХВГ.

Для досягнення зазначеної мети необхідним було вирішення наступних завдань:

- проведення аналізу відомих методів отримання боридних покриттів, досліджень їх структури і властивостей,
- дослідження впливу природи борирувального агента, складу борирувальної суміші, складу сталі, а також параметрів борирування (час, температура та ін.) на склад, структуру і властивості боридних покриттів.

**Виклад основного матеріалу досліджень.**

**Методика дослідження.** Для проведення експериментальних досліджень були виготовлені зразки зі сталей У8 та ХВГ.

Борирування здійснювали у твердому карбюраторі при температурі 900°C протягом 4 годин. Зразки завантажували до контейнерів та засипали заздалегідь підготовленими насичувальними сумішами. При цьому відстань між зразками в контейнерах складала не менше 5 міліметрів. Борирування здійснювали в контейнерах з плавким затвором у лабораторній печі. Насичення проводили в сумішах наступного

складу:

1. Класичне борирування: технічний карбід бору, хлористий амоній та окис алюмінію [1].

2. Борохромування: технічний карбід бору, ферохром, фторопласт-4 та окис алюмінію.

3. Бороміднення: технічний карбід бору, порошок міді, фторопласт-4 та окис алюмінію.

По закінченню ізотермічної витримки контейнер з деталями діставали з печі і охолоджували до кімнатної температури на повітрі. Після охолодження контейнерів, скло розбивали, контейнери розпаковували і витягували зразки.

Візуальне вивчення і фотографування мікрошліфів боридних покриттів проводили на металографічному мікроскопі МІМ-7 в інтервалі збільшення 50-500 разів. Для запобігання сколювання покриття в процесі виготовлення мікрошліфів зразки заливали легкоплавким сплавом. Потім проводили шліфування, полірування та дослідження зразків. Для виявлення мікроструктури шару застосовували 3-5% розчин азотної кислоти.

ДюрOMETричні дослідження проводили на приборі ПМТ-3 не менш, ніж в 10-15 полях зору при навантаженні 0,49 – 0,98 Н. Точність вимірювання мікротвердості складала  $\pm 250$  МПа.

#### **Результати досліджень.**

Мікроструктурним аналізом встановлено, що отримані за даною технологією боридні покриття мають голчасту структуру з чітко вираженою межею поділу покриття-основа (рис. 1, 2).

В системі Fe-B масоперенесення елементів здійснюється переважно шляхом дифузії бору через боридний шар до основного фронту реакції, розташованому на міжфазних межах залізо (Fe) – борид ( $Fe_2B$ ) і борид ( $Fe_2B$ ) – борид ( $FeB$ ).

Мікроструктура боридного шару на сталях являє собою голки боридів, котрі орієнтовані нормально поверхні зразка і вклинюються в перлітні зерна (рис. 1 і 2).

Мікроструктури боридних покриттів, отриманих в різних сумішах на сталях У8 та ХВГ, відрізняються за формою складових та товщиною шару.

Після борохромування боридні голки мають дещо заокруглений характер. 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 [9], вносить зміна параметра «С». Вважається, що максимальному значенню мікротвердості відповідає мінімальне значення об'єму елементарної комірки ромбічних ґраток фази FeB при 4% Cr у порошковій суміші. Шар має досить високу твердість, але дещо нижчу, порівняно з класичним способом борирування, близько 19 ГПа для ХВГ та 18,5 ГПа для У8. Можливо, що зменшення твердості шару при борохромуванні

пов'язане з легуванням хромом не тільки цементиту, а і боридів (Fe, Cr)B та (Fe, Cr)<sub>2</sub>B.

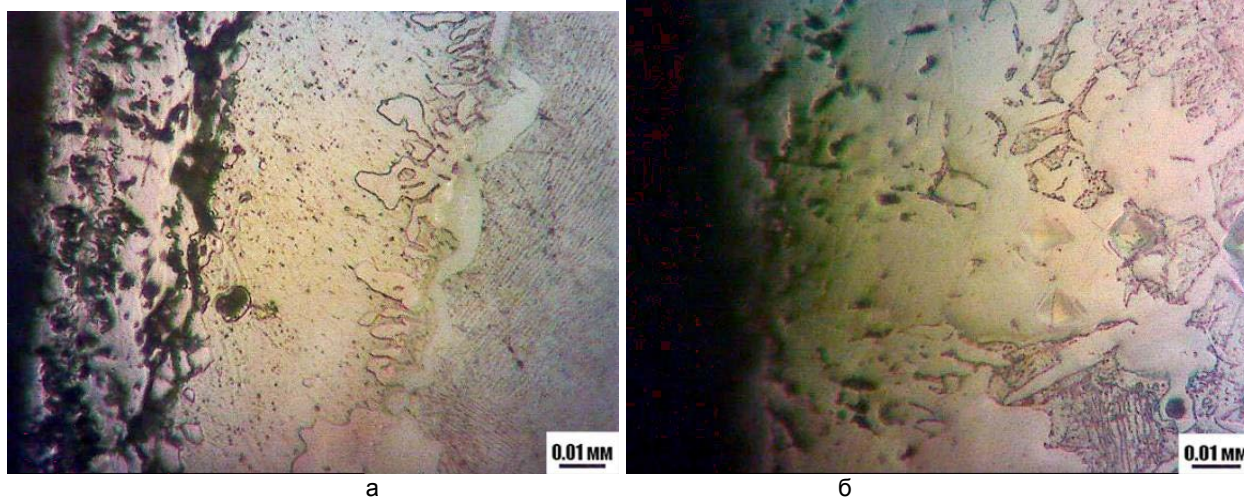


Рисунок 1 – Мікроструктура боридних покриттів на сталі У8:  
а – борохромування; б – бороміднення

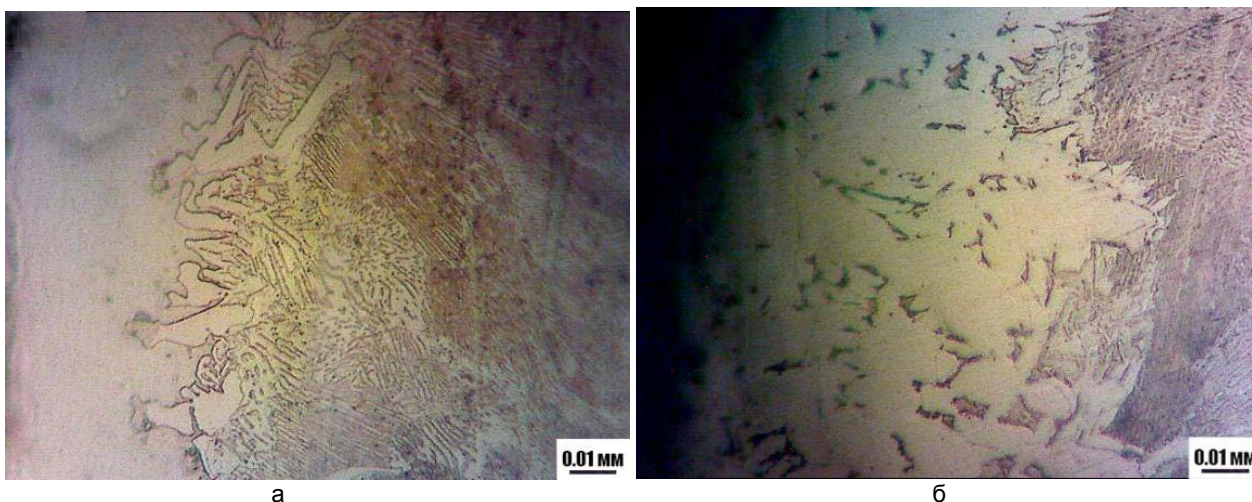


Рисунок 2 – Мікроструктура боридних покриттів на сталі ХВГ:  
а – борохромування; б – бороміднення

Покриття після бороміднення щільні з менше виразною голчатою структурою дифузійного шару (рис. 1 і 2, б) порівняно зі класичним боридуванням. Крім того, зменшується характерна для боридних покриттів закрита пористість. Можливо, дифузія міді сприяє зменшенню пор у покритті [3]. ДюрOMETричні дослідження показали, що отримані шари мають мікротвердість 11 ГПа для сталі У8 та 14 ГПа для ХВГ, що дещо нижче твердості борированого шару при класичній технології насичення. Але автори роботи [7] відмічають, що покриття після бороміднення, незважаючи на зменшення твердості, мають досить високу зносостійкість, ймовірно, через вплив міді на покриття, яка виступає в якості сухого “мастила” при терті матеріалу.

Склад суміші при боридуванні істотно впливає на товщину шару. Так, після борохромування отримали шар товщиною ~ 60 мкм на обох сталях, тоді як після бороміднення – 150 мкм для У8 та 130 мкм для ХВГ.

**Висновок.** Проведений аналіз відомих методів отримання боридних покриттів. Показано, що хімічний склад суміші для боридування чинить істотний вплив на мікроструктуру і властивості шару. Незважаючи на перспективність застосування боридування з метою покращення зносо- та корозійної стійкості поверхневого шару сталних виробів, цей вид хіміко-термічної обробки має недолік – досить високу крихкість. Шляхами зниження крихкості боридних шарів є їх оптимальне мікролегування и створення сприятливого напруженого стану. Легувальні елементи чинять істотний вплив як на кінетику формування боридних шарів, так і на будову, фазовий склад і властивості. Нами показано, що покриття бор – мідь і бор – хром характеризуються високою твердістю, а отже зносостійкістю. Твердість борохромистих шарів складає 19 ГПа для ХВГ та 18,5 ГПа для У8, боромідних – 11 ГПа для сталі У8 та 14 ГПа для ХВГ, що дещо менше твердості шару після класичного боридування. Хром і мідь, зменшуючи

твердість, знижують крихкість покриття, що робить його на порядок пластичнішим. Мідь, на відміну від хрому, сприяє дифузії бору вглиб сталі, що забезпечує формування щільних та

рівномірних за товщиною покриттів. Після бороміднення товщина шару складає 150 мкм для У8 та 130 мкм для ХВГ.

#### **Список використаної літератури:**

1. Ворошин Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. - Мн.: Беларусь, 1981. – 205 с.
2. Минкевич А. Н. Химико термическая обработка. Учеб. пособие. 2-е изд., пераб. – М.: Машиностроение, 1965. – 490 с.
3. Крукович М. Г., Прусаков Б. А., Сизов И. Г. Пластичность борированных слоев. – М.: Физматлит, 2010. – 384 с.
4. Глухов В.П. Борированные покрытия на железе и сталях. – Киев: Наукова Думка, 1970. – 208 с.
5. Спосіб борування сталевих виробів. Патент України №102394, МПК С23С 8/70 / Спиридонова І. М., Мостовий В. І., Федоренкова Л. І., Колюча В. Д. - № а201015588; заявл. 23.12.2010; опубл. 25.06.2012, бюл. №12.
6. Череда С. М., Поляков Ш.А., Медова І.Ю. Структура та властивості боридних покриттів легованих міддю на сталі 45 // Вісник СевНТУ. – 2013. – №137. – С. 265 – 269.
7. Череда С. М., Поляков Ш. А., Медова І. Ю. Підвищення зносостійкості поверхневих шарів металів та сплавів боридними покриттями за участю міді. // Вісник національного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2011. – №61. – С. 104 – 108.
8. Корнопольцев Н.В. Получение комплексных боридных покрытий // Ползуновский вестник. – 2012. - №1. – С. 135 – 139.
9. Гурьев А. М., Иванов С. Г., Лыгденов Б.Д. и др. Влияние параметров борохромирования на структуру стали и физико-механические свойства диффузионного слоя // А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, Б. Д. Лыгденов, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, М. А. Гурьев, И.А. Гармаева // Ползуновский вестник. – 2007. – №3. – С. 28 – 34.

#### **Гапонова О.П., Охрименко В.О. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕГИРОВАННЫХ МЕДЬЮ И ХРОМА НА ИСТРЕМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ**

*В работе представлен анализ известных методов получения покрытий, исследований их структуры и свойств. Представлены результаты исследований влияния состава боридной смеси на примере боромеднения и борохромирования на структуру и свойства покрытий на сталях У8 и ХВГ. Установлено, что хром и медь уменьшают твердость и хрупкость диффузионных слоев. Медь, в отличие от хрома, улучшает диффузию бора вглубь стали, что обеспечивает формирование плотных и равномерных по толщине покрытий.*

**Ключевые слова:** борирование, боромеднение, борохромирование, диффузия, покрытие, твердость, сталь.

#### **O. P. Gaponova, V. O. Okhrimenko STRUCTURE AND PROPERTIES OF COATINGS BORYDNYH DOPED WITH COPPER AND CHROMIUM IN ISTRA, MENTAL STEELS**

*Analysis of known methods of producing coatings, studies of their structure and properties are presented in the paper. Research results are presented on influence of boride mixture composition as an example borocoppering and borochroming coatings at U8 and HVG steels. It is established that the copper and chromium reduces the hardness and brittleness of the diffusion coatings. Copper as opposed to chromium improves the diffusion depth of boron into steel, what improves the formation of compact and uniform thickness of the coatings.*

**Keywords:** boriding, borocoppering, borochroming, diffusion, coating, hardness, steel.

Стаття надійшла в редакцію: 19.08.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Антошевський Б.