

Князев С. А.

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
E-mail: obmeninfoserg@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ПАСТИ ДЛЯ
ФОРМУВАННЯ ЗМІЦНЕНИХ ШАРІВ НА СТАЛІ
МАРТЕНСИТНОГО КЛАСУ ШЛЯХОМ
КОМБІНОВАНОЇ ОБРОБКИ

УДК 621.78

DOI 10.37700/ts.2020.21.229-234

Князев С.А. «Визначення складу пасту для формування зміцнених шарів на сталі мартенситного класу шляхом комбінованої обробки»

Проблематика підвищення зносостійкості потребує нових матеріалознавчих підходів до вирішення питань поверхневого зміцнення. Нержавіючі сталі мартенситного класу мають високі антикорозійні властивості і характеристики міцності, однак слабо протидіють абразивному і ерозійному зношуванню. Існуючі методи хіміко-термічного зміцнення вже не відповідають експлуатаційно-економічним показникам. Застосування комбінованої методики зміцнення яка поєднує борування та швидкісний нагріву струмами високої частоти дозволяє інтенсифікувати дифузійні процеси. Такий підхід дозволяють отримати порівняно товсті зміцнені шари та отримати структуру зміцненого шару з принципово новою морфологією.

В результаті обробки сталі мартенситного класу отримано шари товщиною 25 – 240 мкм з проміжним загартованим шаром між дифузійною зоною та основним металом. Така архітектура зміцненого шару дозволяє ефективніше протидіяти продавлюванню, абразивному, ерозійному та кавітаційному зношуванню.

Основними структурами у борованому шарі є бориди типу Fe_2B , карбобориди, які розташовані у твердому розчині бору у залізі та легуючих елементів.

Мікротвердість борованого шару перевищує 10000 МПа. Мікротвердість загартованого шару сягає значень 8000 МПа, що відповідає мікротвердості безструктурного мартенситу.

Перехід від дифузійного шару до основної структури відбувається через структуру гартування, яка була сформована під дією швидкісного нагрівання СВЧ, і достатньо швидкісним тепловідводом вглиб металу. Показано, що дрібні зерна матричного матеріалу, які утворились на границі поділу, утворюються внаслідок активного проникнення атомів бору по границям субструктури і формуванням нових границь структури.

Ключові слова: борований шар, мікротвердість, загартований шар, карбід бору, струми високої частоти.

Князев С. А. «Определение состава пасты для формирования усиленных слоев на стали мартенситного класса путем комбинированной обработки»

Проблематика повышения износостойкости требует новых материаловедческих подходов к решению вопросов поверхностного упрочнения. Нержавеющие стали мартенситного класса имеют высокие антикоррозийные свойства и прочностные характеристики, однако слабо противодействуют абразивному и эрозионному износу. Существующие методы химико-термического упрочнения уже не соответствуют эксплуатационно-экономическим показателям. Применение комбинированной методики упрочнения которая сочетает борирование и скоростной нагрева токами высокой частоты позволяет интенсифицировать диффузионные процессы. Такой подход позволяет получить сравнительно толстые упрочненные слои и получить структуру упрочненного слоя с принципиально новой морфологией.

В результате обработки стали мартенситного класса полученны слои толщиной 25 - 240 мкм с промежуточным закаленным слоем между диффузным зоной и основным металлом. Такая архитектура упрочненного слоя позволяет эффективно противодействовать продавливанию, абразивному, эрозионному и кавитационному износу.

Основными структурами в борированном слое является бориды типа Fe_2B , карбобориды, расположенных в твердом растворе бора в железе и легирующих элементов.

Микротвердость борированного слоя превышает 10000 МПа. Микротвердость закаленного слоя достигает значений 8000 МПа, что соответствует микротвердости бесструктурного мартенсита.

Переход от диффузионного слоя к основной структуры происходит через структуру закалки, которая была сформирована под действием скоростного нагрева СВЧ, и достаточно скоростным теплоотводом вглубь металла. Показано, что мелкие зерна матричного материала, которые образовались на границе раздела, образующиеся в результате активного проникновения атомов бора по границам субструктуры и формированием новых границ структуры.

Ключевые слова: Борированный слой, микротвердость, закаленный слой, карбид бора, токи высокой частоты.

Князев С. "Determination of the paste composition for the formation of reinforced layers on martensitic steel by combined processing"

The problem of increasing wear resistance requires new materials science approaches to solving problems of surface hardening. Martensitic stainless steels have high anticorrosive properties and strength characteristics, but weakly resist abrasive and erosive wear. The existing methods of chemical-thermal hardening no longer correspond

to the operational and economic indicators. The use of a combined hardening technique that combines borating and high-speed heating by high-frequency currents makes it possible to intensify diffusion processes. This approach makes it possible to obtain relatively thick hardened layers and to obtain a hardened layer structure with a fundamentally new morphology.

As a result of the processing of martensitic steel, layers with a thickness of 25 - 240 microns with an intermediate hardened layer between the diffusion zone and the base metal were obtained. This architecture of the hardened layer effectively resists punching, abrasive, erosional and cavitation wear.

The main structures in the boron layer are borides of the Fe_2B type, carboborides located in a solid solution of boron in iron and alloying elements.

The microhardness of the borated layer exceeds 10000 MPa. The microhardness of the hardened layer reaches 8000 MPa, which corresponds to the microhardness of structureless martensite.

The transition from the diffusion layer to the main structure occurs through the hardening structure, which was formed under the action of high-speed microwave heating, and a sufficiently high-speed heat removal deep into the metal. It is shown that fine grains of the matrix material formed at the interface are formed as a result of active penetration of boron atoms along the boundaries of the substructure and the formation of new boundaries of the structure.

Keywords: boron layer, microhardness, hardened layer, boron carbide, high frequency currents.

Вступ

Високолеговані сталі мартенситного класу є широко розповсюдженими нержавіючими сталями які у багатьох режимах термічної обробки забезпечують високі показники міцності. Верхня межа міцності, що досягається лімітована кількістю вуглецю у сталях даного класу (не більше 0,45 %). При більшій кількості вуглецю у сталях мартенситного класу у структурі з'являються металографічно помітні (від декількох мікрометрів) карбіди хрому, які зменшують ударну в'язкість, ерозійну та корозійну стійкість. Тому для деталей машин та інструменту, що виготовляються зі сталей мартенситного класу ефективним є поверхневе зміцнення.

Актуальність проблеми

Елементи енергетичного обладнання, такі, як наприклад лопатки парових турбін, чи ножі працюючі у корозійно-активному середовищі для забезпечення експлуатаційних властивостей завдяки своєму складу мають високу стійкість до корозії. Твердість мартенситної структури, яка формується навіть при гартуванні на повітрі хоча і забезпечує певний рівень зносостійкості, однак не відповідають характеристикам високої абразивної та ерозійної стійкості. Тому актуальним залишається питання модифікування поверхні з метою її зміцнення.

Аналіз останніх досліджень

З відомих способів дифузійного насичення сталей найкраще співвідношення твердість – глибина дифузійного шару має технологія борування [1]. Насичення бором забезпечує формування твердого шару з боридів FeB та Fe_2B [2]. Однак навіть однофазний шар з Fe_2B має підвищену крихкість [3]. Іншим обмеженням, є те що відомі способи борування потребує витрати значної кількості реагенту та обмежує розміри деталі, що обробляється розмірами пічного чи електролітичного обладнання [4]. Виходом з цього обмеження може бути застосування локальної внепічної обробки з паст і нагрівом струмами високої частоти (СВЧ). Нагрів СВЧ дуже чуттєвий до змін технологічних параметрів нагріву. Використанні великих питомих потужностей при виділенні тепла досягаються великі швидкості нагріву 100 – 1000 °C/с і навіть більшою. При таких параметрах нагріву сам процес триватиме лише декілька секунд. Важливим, для успішної реалізації комбінованої обробки, є ефективність середовища насичення. Паста що насичує повинна виділяти бор складові елементи, котрі в достатній кількості повинні потрапляти на поверхню, що оброблюється [5].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є реалізація борування швидкісним нагрівом СВЧ з паст. Важливим моментом є підбір ефективної пасти для насичення в умовах швидкісного нагріву.

Результати досліджень

Було проведено ряд дослідів по боруванню з швидкісним нагрівом СВЧ, метою яких було встановити ефективність того чи іншого складу насичуючої пасти.

Були використані пасти на основі карбиду бору:

- 1) 100% B_4C ; 2) 80% B_4C + 20% NaF ; 3) 60% B_4C + 40% NaF ; 4) 40% B_4C + 60% NaF ;
- 5) 20% B_4C + 80% NaF ; та пасти з аморфного бору аналогічного складу.

Результатами борування з нагріванням СВЧ стали дифузійні шари різні за глибиною та мікротвердістю. Результативними були пасти, у складі яких знаходився карбід бору (B_4C); до складу входять від 80% до 60% B_4C та від 20% - 40% NaF . Помітно менша товщина шару була на зразках, отриманих з паст 40% B_4C + 60% NaF та 100% C . Найменша товщина борованого шару отримана з паст складу 20% B_4C + 80% NaF . Пасти, до складу яких виходив аморфний бор, дали негативні результати. Деякі отримані структури представлено нижче у вигляді панорам (рис. 1 та 2).

Такі результати можна пояснити тим, що в одному випадку була порівняно недостатня кількість B_4C (склад № 5), а в іншому випадку відсутність активатору (склад № 1). Слід зазначити, що при традиційному боруванні з використанням пічного нагрівання, кількість активатору у складі насичуючої суміші не перевищує 5%. Найбільш придатним для використання можна вважати пасту зі складом № 3 (60% B_4C + 40% NaF), яка дає можливість отримати товщі шари і містить меншу кількість більш коштовного B_4C , тобто є більш економічно вигідніша.

Найбільші шари мали глибину приблизно 240 мкм (отримані зі складів № 2 та № 3); шар, отриманий зі складу № 4 мав товщину приблизно 60 мкм; шар, отриманий зі складу № 1 – приблизно 58 мкм і найменший шар, отриманий зі складу №5 мав товщину шару 25 мкм. Слід відмітити, що найкращі результати по товщині борованого шару для складу паст № 2 були прогнозовані, спираючись на відомі хімічні реакції дисоціації B_4C в присутності NaF , тобто враховуючи питомий об'єм речовин, така пропорція бору, як складової речовин та активатор, є вигідними для утворення продуктів реакції у вигляді BF_3 та BF_2 .

Отримані структури у всіх випадках мали схожу морфологію. По всьому об'єму дифузійного шару спостерігається матрична структура з коричневим відтінком, яку пов'язують з твердим розчином бору.

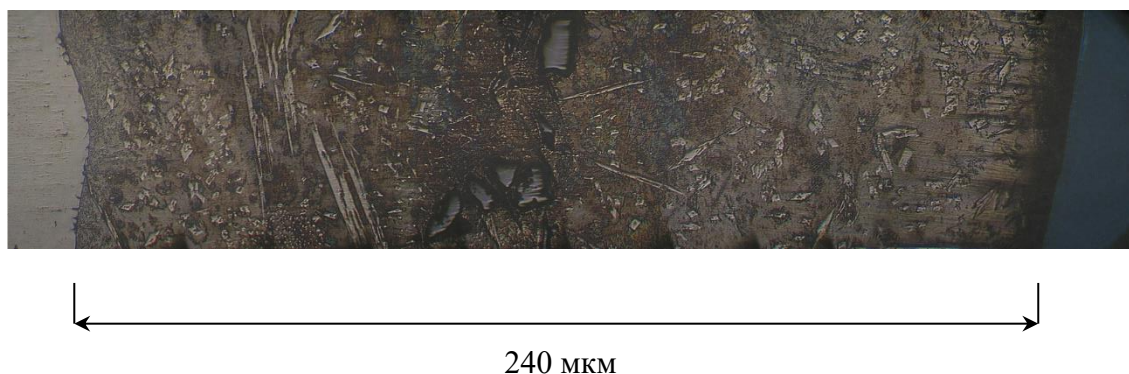


Рис. 1. Борований шар, отриманий з пасти 80% B_4C + 20% NaF (x 200) зменшено у 8 рази

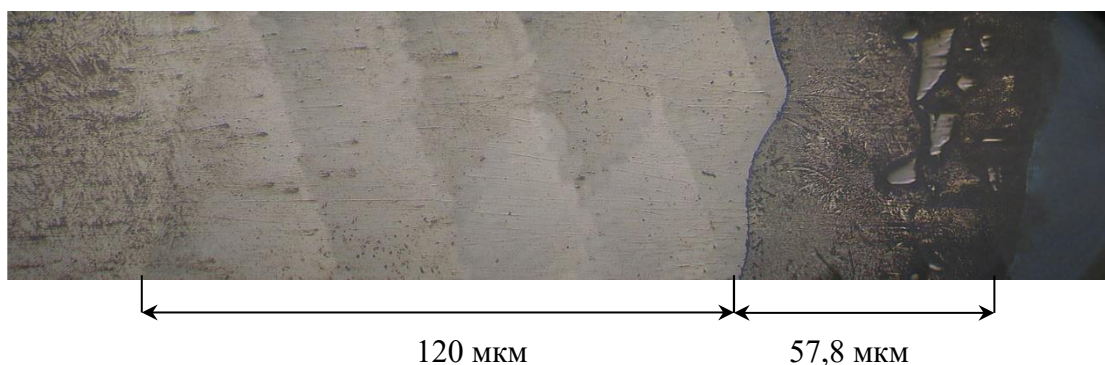


Рис. 2. Борований шар з загартованим підшарком, отриманий з пасті складу №1 – 100% B_4C (x200) зменшено у 4 рази

В залізі коричневий відтінок був отриманий після кольорового травлення при нагріванні до $45\text{ }^\circ\text{C}$ у реактиві: 1 % $C_6H_2OH(NO_2)_3$ + 33 % $NaOH$ + 66 % H_2O . При цьому борид FeB повинен забарвлюватися у коричневий колір, а Fe_2B – у жовтий [2].

В даній матричній структурі спостерігається наявність більш твердих включень різноманітної дисперсності, так спостерігається наявність дуже дрібних скупчень (за припущенням карбоборидів), світлих включень ромбовидної форми та променевих структур, які за морфологією нагадують фази бориду Fe_2B . Такий висновок базується на формі кристалітів, оскільки бориди мають ромбічну решітку. Променеві структури відносяться також до боридів типу Fe_2B , однак, розташовані повздовж площини шліфа.

Нарешті, на всіх зразках у дифузійному шарі спостерігається наявність порівняно крупних часток на твердій фазі B_4C . Ця фаза, як правило, знаходиться на поверхні дифузійного шару, однак, у випадках борування з паст № 2 і № 3 опинились у глибині дифузійного шару.

На рис. 3 представлений характерний розподіл мікротвердості на прикладі зразка, борованого з пасті № 4.

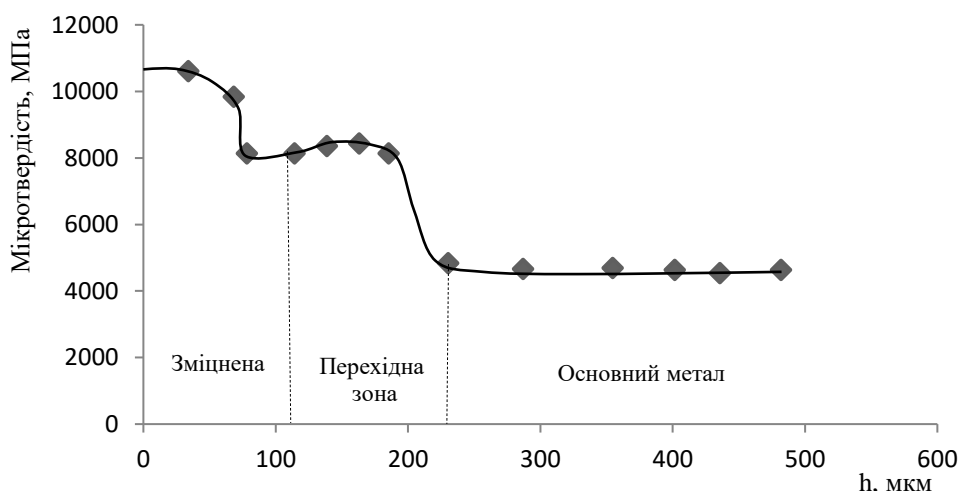


Рис. 3. Розподіл мікротвердості борованого шару з загартованим підшарком, отриманого з пасті складу № 4 – 40% B_4C + 60% NaF

Така структура борованого шару сприяє підвищенню зносостійкості, особливо кавітаційній, оскільки матрична структура шару твердого розчину бору в залізі, має підвищену пластичність в порівнянні з суцільним шаром боридів. В той же час, наявність твердих часток боридів і карбоборидів зміцнює матричний матеріал і підвищує зносостійкість. При кавітаційній дії на матеріал, наявність надтвердої фази B_4C небажана,

оскільки жорсткі ковалентні зв'язки у цьому хімічному з'єднанні не дозволяють йому деформуватись.

Перехід від дифузійного шару до основної структури відбувається через структуру гартування, яка була сформована під дією швидкісного нагрівання СВЧ, і достатньо швидкісним тепловідводом вглиб металу. Візуально, при кольоровому травленні, виявляється достатньо чітка границя переходу від дифузійного шару до загартованого, однак, при додатковому протравленні виявляється більш складна побудова границі розділу зерен, яка представлена на рис. 4, і обумовлена взаємним проникненням структур матричного матеріалу та матеріалу дифузійного шару.

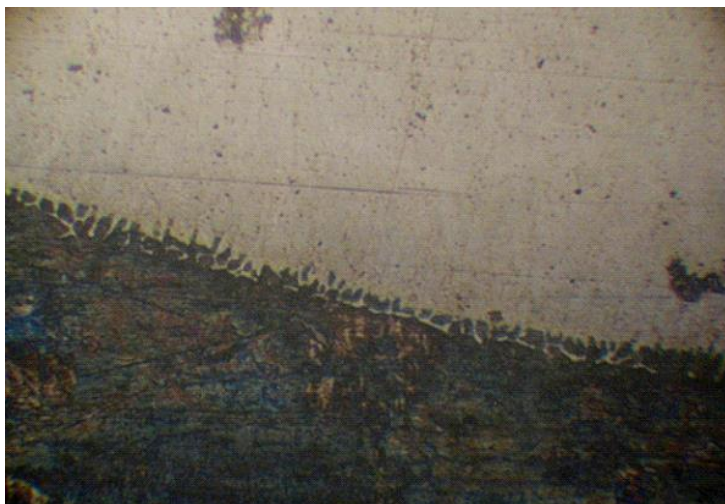


Рис. 4. Структура границі переходу, виявлена додатковим травленням (x 500)

Дрібні зерна матричного матеріалу, які утворились на границі поділу, утворюються внаслідок активного проникнення атомів бору по границям субструктури і формуванням нових границь структури. Таким чином, границя переходу від дифузійного шару до основного металу більш розвинена ніж здавалося раніше, адже її дійсна структура виявляється лише при додатковому травленні.

Така границя поділу сприяє більшій міцності дифузійного шару з основним металом за рахунок взаємного проникнення структур та ідентичністю кристалічних решіток твердих розчинів, котрі їх утворюють.

Висновки

1. Металографічний аналіз поперечних розрізів показав наявність порівняно товстих (25 -240 мкм) отриманих з паст на основі карбиду бору.
2. Використання паст з аморфним бором не призвели до формування борованих шарів внаслідок активного окислення бору при нагріві.
3. Ефективнішою пастою можна вважати пасту зі складом 60% - 80% B_4C + 40% - 20% NaF .
4. Отримані структури борованих шарів корінним чином відрізняються за морфологією від борованих шарів отриманих при пічному нагріві. Отримані структури дозволяють застосовувати покриття для роботи в умовах абразивного і ерозійного зношування.

Список використаних джерел

1. Лахтин Ю. М., Рахштадт А. Г. Термическая обработка в машиностроении : справочник. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.

2. Уманский В. Г., Маняк Л. К. Новые способы упрочнения деталей машин: справочное пособие. Д.: Донбас, 1990. 100 с.
3. Kulka M. Current Trends in Boriding. Techniques, 2019. 282 p
4. Keddam M., Kulka M., Makuch N., Pertek A., Małdziński L. A kinetic model for estimating the boron activation energies in the FeB and Fe₂B layers during the gas-boriding of Armco iron: Effect of boride incubation times. Applied Surface Science. 2014. Vol. 298. P. 155–163.
5. М. А. Погрибний, С. А. Князев, «Борування конструкційних сталей з використанням насичуючих паст», Металознавство та обробка металів. - 2011. - № 1. С. 33-38.

References

1. Lakhtin Yu. M., Rakhshadt AG Heat treatment in mechanical engineering: a reference book. Moscow: Mashinostroenie, 1980.783 p.
2. Umansky VG, Manyak LK New methods of hardening machine parts: a reference guide. D .: Donbas, 1990.100 p.
3. Kulka M. Current Trends in Boriding. Techniques, 2019.282 p
4. Keddam M., Kulka M., Makuch N., Pertek A., Małdziński L. A kinetic model for estimating the boron activation energies in the FeB and Fe₂B layers during the gas-boriding of Armco iron: Effect of boride incubation times ... Applied Surface Science. 2014. Vol. 298. P. 155-163.
5. МА Pogribniy, SA Knyazev, "Boruvannya of constructional steels from vikoristannyh nasichuychih pastes", Metaloznavstvo and obrobka metaliv. - 2011. - No. 1. S. 33-38.