

Е. Н. Храновская, Е. В. Иващенко, Г. Г. Лобачова

Формирование многослойных электроискровых покрытий на железе в углеродосодержащих средах

Резюме

Рассмотрены особенности формирования одно- и трехслойных электроискровых покрытий на железе в углеродосодержащих средах. Исследован фазовый состав и характеристики физико-механических свойств поверхностных слоев железа после нанесения покрытий.

E. N. Khranovskaia, E. V. Ivashchenko, G. G. Lobachova

Formation of multi layer electrospark coatings on iron in the carbonaceous mediums

Summary

Features of formation of mono- and three-layer electrospark coatings on an iron in the carbonaceous mediums are considered. Phase composition and characteristics of physical-mechanical properties of surface layer of iron after coating are investigated.

УДК 539.219.3

Борування конструкційних сталей з використанням насичуючих паст

М. А. Погрібний, кандидат технічних наук, професор
С. А. Князєв

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків

Наведено результати дослідження можливості безконтейнерного борування сталей 40Х та 15Х11МФ з використанням паст. Проведено вибір насичуючих сумішей для виготовлення паст, порівняння властивостей зміцнених шарів та ідентифікацію їх структури. Показано можливість реалізації простого та ефективного захисту від окиснення насичуючої зони без використання захисної обмазки.

Сучасні реалії науково-технічного розвитку диктують умови щодо економічності та спрощення технологій зміцнення матеріалів. Це в повній мірі стосується хіміко-термічної обробки (ХТО). Тому головною метою даної роботи було дослідження можливості спрощення процесу борування та зменшення витрат матеріалів, необхідних для цього виду ХТО при забезпеченні високої якості зміцнених поверхонь. Вирішення поставленої задачі досягалось застосуванням насичуючих паст замість засипки у контейнер насичуючої суміші; використанням відносно простого обладнання; зменшенням тривалості борування; простим способом захисту області реакції та насичення від окиснення, достатньо легким звільненням зразків – деталей від залишків

обмазки та захисної засипки; вибором насичуючих сумішей для виготовлення паст з вже відомих та нових, запропонованих авторами; детальним дослідженням процесів, що передують дифузійній стадії процесу борування.

Браховувалось, що літературні джерела [1 – 4, 6] не дають однозначних рекомендацій щодо вибору ефективних сумішей для безконтейнерного борування в окислювальному середовищі. Крім того, пропонуючи ту чи іншу суміш, автори публікацій не в повній мірі пояснюють роль добавок, які в неї входять [1, 3], а також не дають однозначної трактовки механізму утворення атомарного бору, що є головною умовою для протікання процесів дифузії.

Досліди з виявленням можливостей по боруванню без контейнера проведено на сталі 15X11МФ, яка широко використовується для виготовлення деталей парових турбін. Для відпрацювання методики та порівняння результатів боруванню піддавали сталь 40Х.

Борування проводили з використанням насичуючої суміші у вигляді обмазки (пасти) з карбіду бору, аморфного бору, активатору та зв'язуючої речовини. В якості зв'язуючої речовини доцільно використовувати клеї БФ, ПВА, КМЦ. В даних експериментах використовували клей ПВА. Суміш ретельно перемішували протягом 30 хв, після чого наносили безпосередньо на поверхню зразків. В якості захисної засипки використовували суміш глини з борною кислотою. Схематично підготовка зразків для борування показана на рис. 1 а.

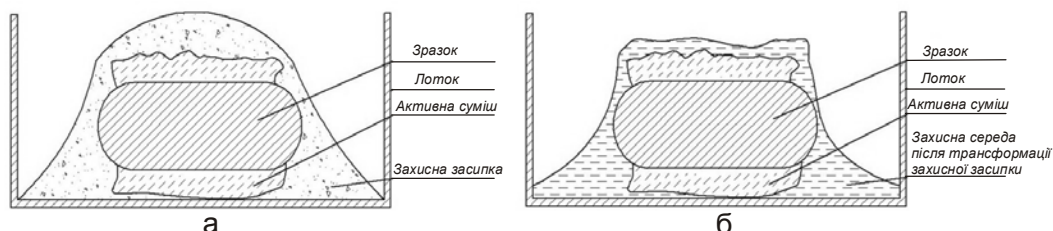


Рис. 1. Реалізація борування із захисною засипкою (а) та утворення захисного середовища при пічному нагріві (б).

Борування проводили протягом 3-х годин в термічній печі з окисною атмосферою при температурі 950 °С з наступним охолодженням на повітрі.

При нагріванні захисна засипка трансформується у в'язке захисне середовище (рис. 1 б) з утворенням V_2O_3 у розплавленому вигляді. Відомо [4, 5], що V_2O_3 практично не пропускає газоподібні речовини і продукти виділення з насичуючої суміші, тобто відіграє роль своєрідного плавкого затвора. Для відокремлення зразків від лотка використовували здатність V_2O_3 розчинятися у воді. Таким чином, вплив води протягом приблизно 30 хв дозволяє вилучити зразки з лотка.

В експерименті використовували декілька складів насичуючих паст, підібраних виходячи з можливої ролі кожного компонента у розвитку процесу борування:

- № 1: 85 % B_4C + 10 % В + 5 % NaF,
- № 2: 67 % B_4C + 30 % Al_2O_3 + 3 % NaF,
- № 3: 67 % В + 30 % Al_2O_3 + 3 % NaF,
- № 4: 50 % B_4C + 43 % Al_2O_3 + 4 % NaCl + 3 % KBF_4 ,
- № 5: 100 % B_4C .

За основу була обрана відома [5] суміш № 2 (67 % B_4C + 30 % Al_2O_3 + 3 % NaF). У суміші № 3 карбід бору B_4C був замінений аморфним бором з метою порівняння впливу цих речовин на процес борування виходячи з того, що B_4C і аморфний бор є головними джерелами атомів бору. При цьому їхній вміст повинний бути достатнім

для забезпечення процесу дифузії і у той же час не повинен приводити до спікання насичуючого порошку. Виходячи з цього вміст речовин – джерела атомів бору – повинний перебувати у межах 50 – 85 % [1, 2, 7]. Фтористий натрій (NaF) та тетрафторборат калію (KBF_4) відіграють роль активаторів [2, 5 – 7].

Кожний з обраних компонентів суміші відіграє певну роль в процесі борування. Речовини – постачальники атомів бору забезпечують надходження атомів бору, його дифузію й утворення боридів. Наявність у наведених сумішах активаторів, флюсів і наповнювачів зумовлена їх впливом на активацію механізмів і процесів, пов'язаних з виділенням додаткових атомів бору та його наступної дифузії.

Результати борування досліджували металографічним способом та за допомогою вимірів мікротвердості.

Дифузійні шари були виявлені на всіх зразках зі сталей 40X и 15X11МФ (хокрема насичення з пасти № 5). Як видно з рис. 2, отримані структури мають на поверхні дифузійний шар з характерною для боридів текстурою, перпендикулярною до поверхні насичення. Під шаром боридів на зразках спостерігається перехідна зона, збагачена вуглецем, однак значних змін мікротвердості цієї зони не виявлено. Шар, показаний на рис. 2 а, борований з пасти № 1, має товщину ~ 150 мкм; на рис. 2 б та 2 в – боровані з паст № 2 і № 3 мають товщину ~ 100 мкм, борований з пасти № 4 (рис. 2 г) ~ 200 мкм.

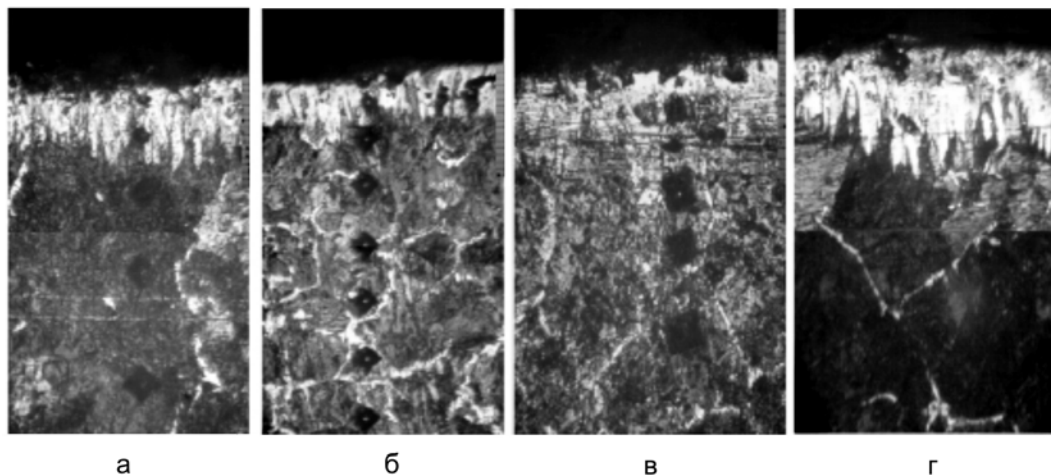


Рис. 2. Мікроструктура сталі 40X, борованої відповідно за допомогою паст № 1(а), № 2 (б), № 3 (в),

Як видно з рис. 3 а найменшу мікротвердість (на рівні 6000 МПа) має шар на сталі 40X, борованої з пасти № 3. Мікротвердість шару, борованого з пасти № 2 (рис. 3 б), майже у два рази вища та становить ~ 12000 МПа. Шари, отримані при боруванні з паст № 1 та № 4 мають найвищі показники мікротвердості ~ 16000 МПа, що відповідає мікротвердості бориду Fe_2B [2]. При цьому слід відзначити, що такий рівень мікротвердості зберігається на більшу глибину саме на зразку, борованого з пасти № 1, ніж з пасти № 4 (рис. 3 в, г).

Низькі показники товщини та мікротвердості зміцненого шару на зразках, борованих з паст № 2 та № 3, можна пояснити введенням більш інертного до процесів активації виділення атомарного бору компонента Al_2O_3 . Можна припустити, що при даній температурі цей компонент в значній мірі не виділяє продуктів, котрі можуть відігравати роль відновлювача.

Як видно з графіка (рис. 3 в), зменшення кількості активатора та заміна карбіду бору на аморфний бор також позначилась на мікротвердості та глибині зміцненого

Термічна і хіміко-термічна обробка

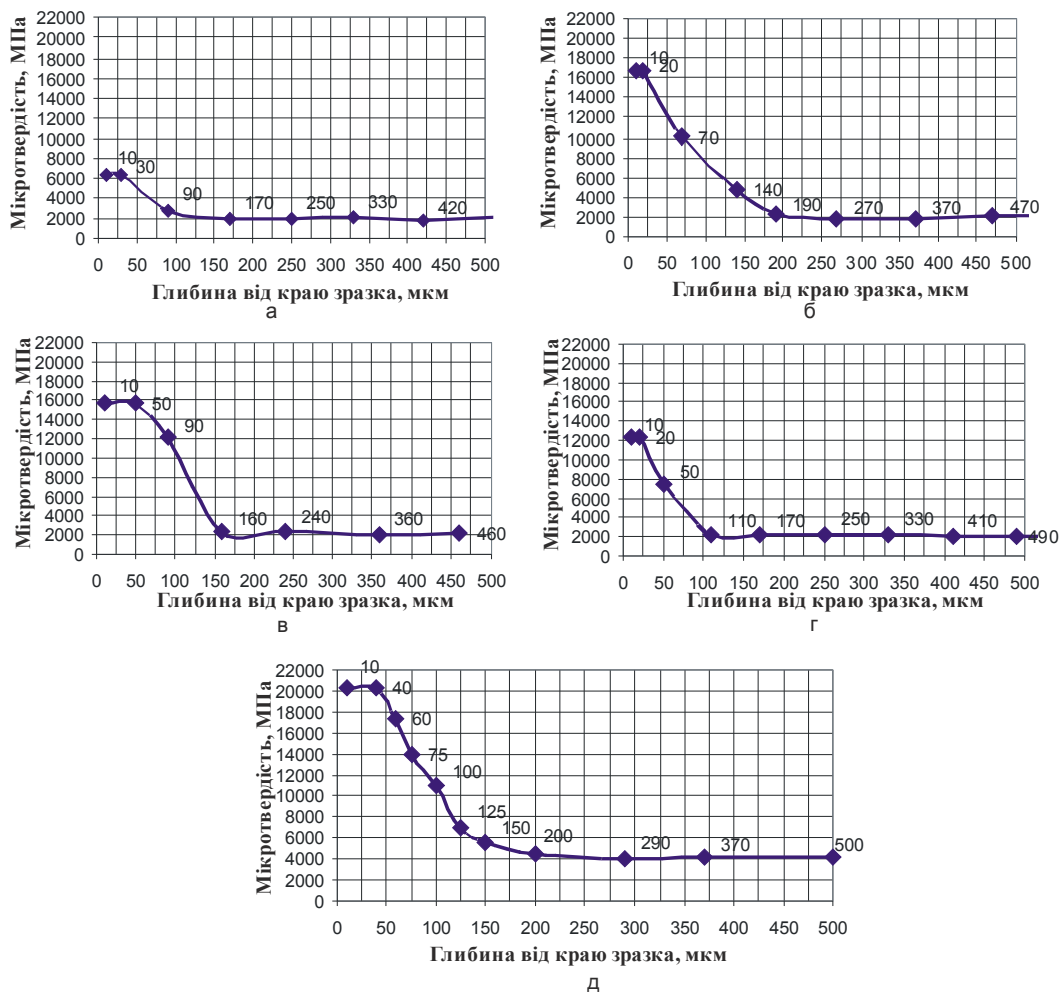


Рис. 3. Мікротвердість сталі 40Х, борованої за допомогою паст № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г) та мікротвердість сталі 15Х11МФ, борованої за допомогою пасті № 1 (д).

шару. Це можна пояснити більшою схильністю аморфного бору до окислення та спікання в процесі борування при послабленому захисті від окислення.

Паста № 4 дозволила отримати найвищу мікротвердість на рівні ~ 17000 МПа (рис. 3 г). При цьому, вірогідно, Al_2O_3 відіграє у присутності NaCl та KBF_4 більш активну роль, ніж просто наповнювач. Як результат – підвищення мікротвердості, товщини шару та більш плавне падіння твердості за глибиною.

За даними мікротвердості та металографічного аналізу можна зробити висновок, що боровані шари у всіх випадках складаються головним чином з бориду Fe_2B . Для підтвердження типу боридів у дифузійному шарі використовували спосіб кольорового травлення при нагріванні до $45^\circ C$ 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].

Присутність однофазного бориду Fe_2B підтверджується результатами кольорового борування, яке було проведене на зразку зі сталі 40Х, що борували за допомогою пасті № 2 (67 % B_4C + 30 % Al_2O_3 + 3 % NaF).

Як відомо з літератури [1, 2, 4], при падінні мікротвердості до 10000 МПа, в структурі борованих шарів повинен з'явитися твердий розчин бору в α -залізі. В

нашому випадку такий тип структури починає домінувати на відстані 110 – 150 мкм від краю зразків (рис. 3). Мікротвердість зони основного металу поза межами шару борування складає приблизно 2000 МПа.

Таким чином, за результатами дослідження можна зробити висновок, що карбід бору, як джерело атомів бору, за даних умов обробки перевершує аморфний бор. У той же час відсутність боридних шарів на п'ятому зразку свідчить про необхідність присутності активаторів в даних умовах насичення.

Для сталі 15X11МФ якісний борований шар був отриманий лише при боруванні із пасти № 1. На поверхні зразка виявлено білу зону, що щільно зчеплена з основним металом і простягається на глибину приблизно 80 мкм. Мікротвердість цієї ділянки склала $H_{200} \approx 22500$ МПа (рис. 3 д). Це є борований шар, основу якого складає борид Fe_2B , а також, можливо, суміш боридів, легованих домішок бориду хрому Cr_2B і в меншій кількості борид молібдену Mo_2B [2]. За цим шаром розташована більш темна структура, яка повинна бути збагачена вуглецем та складатися з твердого розчину бору в α -залізі. Ця структура утворює перехідну зону, що простягається від 60 до 150 мкм на відстані від краю поверхні зразка. На відстані більше, ніж 150 мкм починає домінувати зона основного металу, що має структуру мартенситу. Мікротвердість цієї складової приблизно 4000 МПа (рис. 3 д).

На інших зразках зі сталі 15X11МФ, борованих з паст № 2 – 5, боридні шари мали фрагментарний характер з наявністю перехідної дифузійної зони.

Сутність борування сталі 15X11МФ з пасти № 1 (85 % B_4C + 10 % В + 5 % NaF) з максимальним вмістом NaF можна пояснити високою хімічною активністю цього складу, який забезпечує підвищену активність атомів бору в супротив гальмівній дії легуючих елементів сталі. Збереження якісної поверхні на зразках зі сталі 15X11МФ при боруванні з пасти №1 можна пояснити її більшою хімічною стійкістю в порівнянні зі зразками сталі 40X. При цьому можна також припустити, що роль продукту взаємодії Al_2O_3 з активаторами, як відновника, в даному випадку незначна, оскільки процеси окислення на поверхні сталі 15X11МФ протікають слабо, а можливість супутнього дифундування у порівнянні з менш легованими сталями зменшується.

Таким чином встановлено, що:

Спрощення реалізації технології пічного борування в окисному середовищі, яке є головною перешкодою для протікання хімічних реакцій, доставки та адсорбції дифузійного продукту, повністю себе виправдала за рахунок використання захисної засипки, котра в процесі нагріву розплавляється і утворює щільний прошарок B_2O_3 , застосуванням паст, які локалізують продукти реакцій на поверхні, а також достатньої кількості активаторів – флюсів, які грають роль відновників.

Застосування паст не тільки підвищує технологічність обробки, але дає можливість при реалізації безконтейнерного борування отримати переважно однофазний шар з боридів типу Me_2B , котрий відрізняється від двофазних (формуються при боруванні з порошків у контейнері) меншою крихкістю.

Оптимальним для даного режиму борування склад паст для деталей зі сталі 40X є суміш 50 % B_4C + 43 % Al_2O_3 + 4 % NaCl + 3 % KBF_4 ; для сталі 15X11МФ – суміш 85 % B_4C + 10 % В + 5 % NaF, що пояснюється необхідністю проходження більш повно хімічних реакцій з утворенням вільного бору і борфторидів та інтенсивністю дифузійного відводу цих продуктів реакції у сталь без надлишкового їх накопичення на поверхні. Для деталей зі сталі 40X недоцільно застосовувати активатор NaF у кількостях, що перевищують 3 %, тому що це може привести до надлишкової активності суміші та погіршенню якості поверхні, що спостерігалось. У той же час підвищення вмісту активатора NaF при боруванні високолегованих сталей необхідне для підтримки процесу протягом всього часу борування і не приводить до погіршення якості поверхні.

Карбід бору перевершує аморфний бор за насичуючою здатністю у випадку, коли для спрощення технології борування процес проводили в печах з окисною атмосферою, оскільки аморфний бор чутливий до процесів окислення. При цьому присутність активаторів є обов'язковою.

Література

1. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. – Минск: Беларусь, 1981. – 205 с.
2. Глухов В.П. Борирование сталей. – Киев: Наук. думка, 1979. – 100 с.
3. Уманский В.Б., Маняк Л.К. Новые способы упрочнения деталей машин: Справ. пособие. – Донецк: Донбасс, 1990. – 144 с.
4. Кидин И.Н., Андриюшечкин В.И., Волков В.А. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1978. – 320 с.
5. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справ. / Борисенко Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
6. Немодрук А.А., Карлова З.К. Аналитическая химия бора. – М.: Наука, 1964. – 283 с.
7. А. С. 1775174 СССР, кл. С23 С8/68. Обмазка для диффузионного борирования / Ю.Н. Пресман, И.А. Калиниченко, Т.Ю. Максимова, Н.И. Афанасьев. – № 4837849/02. Заявл. 27.04.90, опубл. 15.08.92. – Бюл. № 30.

Одержано 24.01.11

Н. А. Погребной, С. А. Князев

Борирование конструкционных сталей с использованием насыщающих паст

Резюме

В работе приведены результаты исследования возможности безконтейнерного борирования сталей 40X и 15X11МФ с использованием паст. Проведен выбор насыщающих смесей для изготовления паст, сравнение свойств упрочненных слоев и идентификация их структуры. Показана возможность реализации простой и эффективной защиты от окисления насыщающей зоны без использования защитной обмазки.

N. A. Pogribniy, S. A. Kniazev

Boronizing of structural steels using saturating pastes

Summary

The article presents the results of the analysis of containerless boronizing of 40X and 15X11MФ steels with the use of pastes. Saturating mixtures for paste manufacturing have been chosen. The comparison of strengthened layers properties and structure identification has been made. It is shown that simple and efficient protection against oxidation of saturating area without the use of protective coating is quite feasible.