

УДК 621.78

д.т.н., професор Широков В.В.,
д.т.н., професор Стецько А.Є., Широков О.В.,
Українська академія друкарства, м. Львів,
Мельник Ю.А.,
Луцький національний технічний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ШВИДКОЗНОШУВАНИХ ДЕТАЛЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН ТА УСТАТКУВАННЯ ДИФУЗІЙНИМ БОРУВАННЯМ

Подано нові розробки дифузійного борування спряжених поверхонь деталей будівельних машин та устаткування. Розроблено нові обмазки та економні режими борування нагріванням струмами високої частоти для зміцнення експлуатаційних поверхонь швидкозношуваних деталей.

Ключові слова: дифузійне борування, обмазка, зміцнення поверхонь деталей.

Постановка проблеми. Для використовуваних у будівництві конструкцій машин та технологічного устаткування характерна велика частина швидкозношуваних деталей, робочі поверхні яких знаходяться в складному напруженому стані, оскільки перебувають під номінально статичними або змінними значними навантаженнями, негативним впливом середовищ, та інших факторів, що призводить до їх прискореного виходу з ладу та ставить під сумнів надійність відповідних механізмів і агрегатів у цілому. Крім того, відсутність матеріалів, здатних працювати в екстремальних умовах гальмує впровадження нових технологічних процесів в будівництві. Дослідження нових можливостей зміни комплексу фізико-механічних властивостей металів в заданому напрямі є актуальним завданням сучасного матеріалознавства. Рішення цієї задачі вимагає вдосконалення тих, що існують і створення нових методів їх обробки. Найчастіше в процесі експлуатації найбільш інтенсивним зовнішнім діям піддаються поверхневі шари деталей і інструменту, тому часто структура і властивості саме поверхневих шарів робить важливий вплив на працездатність виробів в цілому. Одним з основних, широко відомих і найбільш перспективних способів зміцнення поверхні сталевих виробів є хіміко-термічна обробка (ХТО). Її застосування економічно вигідніше, ніж отримання легованої сталі з аналогічними властивостями і, як правило, може проводитися на будь-якому підприємстві, яке має термічне устаткування, в тому числі і на відповідно обладнаних

будівельних майданчиках. Хіміко-термічною обробкою виробам можна надати такий комплекс експлуатаційних властивостей, досягнення якого об'ємним легуванням або неможливо або економічно не вигідно .

З поміж процесів дифузійного насичення все більшу увагу привертає борування, завдяки високій зносотривкості та теплостійкості борованого шару. Крім того, процес можна реалізовувати з використанням відносно дешевого низькотемпературного обладнання. Борування проводять переважно з метою підвищення поверхневої твердості і зносотривкості, а також корозійної тривкості. Процес борування реалізують з порошків, металевих розплавів, розплавів солей, газових середовищ. Кожний із наведених технологічних процесів борування має свої переваги, залежно від умов застосування.

Для великої кількості деталей доцільно зміцнювати вибіркві ділянки поверхні. Особливо це характерно для будівельної техніки. Для цієї мети перспективним є розвиток технології зміцнення боруванням із обмазок (місцеве борування), яке займає проміжкові місце між боруванням із порошків і розплавів.

Борування застосовують для підвищення зносостійкості гільз циліндрів авто кранової техніки, втулок насосів для подачі цементно-піскових та інших сумішей, дисків п'яти турбобурів, витяжних, згинальних та формувальних штампів, деталей прес-форм і машин для лиття під тиском, важконавантажених пар тертя, тощо. Стійкість вказаних деталей після борування зростає в 2 – 10 раз.

Мета дослідження. Створити новий метод зміцнення третьових сталевих поверхонь шляхом дифузійного борування, який забезпечує їх вибіркве зміцнення (в зонах навантаження) та одночасно є економічно доцільним для виготовлення чи відновлення відповідних деталей будівельної техніки та спорідненого обладнання.

Виклад основного матеріалу. Як відомо, боруванням називається хіміко-термічна обробка, яка полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару сталі бором при нагріві у відповідному середовищі [1]. Наприклад виконують борування при електролізі розплавленої бури $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, де деталь виступає катодом. Температура насичення $930 - 950^\circ\text{C}$ при витримці 2 – 6 год. Процес можна проводити і без електролізу в ваннах з розплавленими хлористими солями (NaCl , BaCl_2), у які додають 20% феробору або 10% карбіду бору (B_4C). Хороші результати отримані при газовому боруванні. У цьому випадку насичення ведуть при $850 - 900^\circ\text{C}$ в середовищі диборану (B_2H_6) або трьоххлористого бору (BCl_3) в суміші з воднем.

Товщина дифузійного шару складає 100 – 200 мкм (рис. 1[1]). Борований шар володіє високою твердістю HV 1800 – 2000 (18000 – 20000 МПа),

зносостійкістю (в основному, абразивною), корозійною стійкістю, окалиностійкістю (до 800°C) і теплостійкістю.

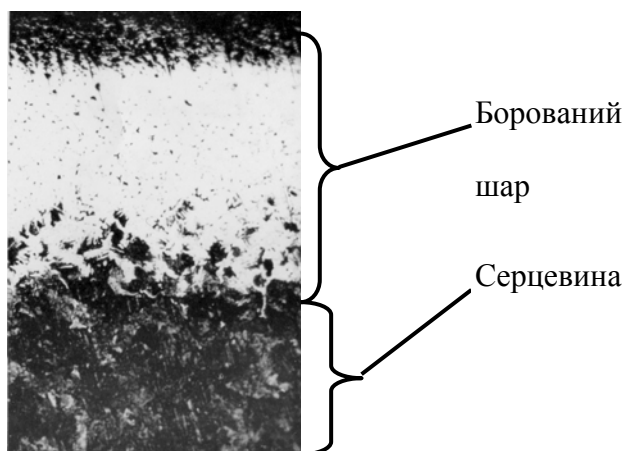


Рис. 1. Борований шар на сталі У10А, отриманий шляхом дифузійного газового борування при 950°C протягом 3 год.

Але, як зазначають автори [2], для поверхневих шарів, покритих твердими фазами типу боридів, нітридів та ін., дуже важко забезпечити високу працездатність через наявність великої кількості дефектів, що викликають значну концентрацію напружень. Крім того, боридний поверхневий шар має невелику товщину, якої не достатньо в умовах абразивного зношення. У зв'язку з цим виникає потреба у застосуванні нового способу зміцнення деталей машин, який давав би можливість отримати зміцнені шари підвищеної товщини, були доволі пластичними, економічними у процесі зміцнення, а також дозволяли повторне відновлення таких деталей. У цьому контексті автори [3] звертають увагу на борування з паст (обмазок). Такий спосіб борування має переваги: можливість зміцнення крупногабаритних деталей, а також при необхідності зміцнення частини деталі, – для місцевого зміцнення.

Технологія зміцнення деталей з паст (обмазок) передбачає виконання таких операцій:

1. Підготовку обмазки(див. табл.).
2. Підготовку поверхні зміцнювальної деталі до насичення в пастах (обмазках).
3. Нанесення і сушіння зміцнювальної обмазки.
4. Нагрівання і витримка підготованої до насичення деталі згідно заданих режимів.
5. Охолодження та очищення деталі від пасти.

Основні компоненти пасти ретельно змішуються в спеціальних змішувачах і розбавляють зв'язуючим компонентом до потрібної консистенції. Як

зв'язуючий матеріал використовують гідролізований етилсилікат, рідке скло, сульфітно-спиртову барду, розчин клею БФ-2 в ацетоні, декстриновий клей та ін. Консистенція пасти в основному визначається вибраною технологією нанесення її на деталь: пульверизацією, окунанням чи пензликом.

Таблиця

Основний хімічний склад обмазок для борування із застосуванням СВЧ

Обмазка №3	Обмазка №2	Обмазка №1	№ рецептури
55 – 60	65 – 75	45 – -51	Карбід бору
15 – 20		15 – -18	Криоліт
1 – 3	7 – 9	3 – 6	Оксид заліза
		2 – 5	Фторид натрію
		5 – 15	Рідке скло
	7 – 9		Графіт
	1 – -3		Мідь
8 – 12			Деревне вугілля
8 – 10			Клей БФ
3 – 5			Ацетон
	10 – 14	5 – 30	Розчин 90% клею БФ і 10% ацетону
1150 – 1200	1100 – 1200	1100 – 1200	Температура, °С
20 – 25	25 – 35	30 – 40	Час витримки, сек
200	180	160	Товщина шару, мкм
10	9	8	Мікротвердість шару, ГПа
70	80	100	Суцільність покриття, %

Товщина обмазки повинна складати 1,5 – 2,5 мм, що, при потребі, дозволяє наносити обмазку в декілька прийомів.

Обмазки на основі ацетону відрізняються високою швидкістю випаровування, тому їх доцільно просушувати при кімнатній температурі. А у випадку використання для реалізації насичення інших зв'язуючих матеріалів, слід використовувати сушильні шафи.

У процесі виконання практичних досліджень для зміцнення зразків за технологією боромістна обмазка з нагріванням струмами високої частоти (СВЧ) [4]. Зміцнення зразка зі сталі 45 здійснюється шляхом нанесення на попередньо очищену та знежирену поверхню обмазки і сушіння цієї обмазки на повітрі. Після цього зміцнювальну деталь з нанесеною обмазкою нагрівають при температурі 1150-1200°C струмами високої частоти.

Сформований зміцнений шар має структуру білих шарів і містить бориди, має товщину 160 мкм та мікротвердість 8 ГПа (рис. 2).

Обмазка для борування складається із основної частини та зв'язки. Досліди показали, що застосування гідролізованого етилсилікату не завжди оправдане, оскільки при підвищенні температури ця зв'язка «набухає», здувається і відшаровується від поверхні зразка, або, при підвищеній потужності установки СВЧ, спікається з її поверхнею. Тому у дослідженнях як зв'язку використано розчин клею БФ-2 в ацетоні.

При підготовці до зміцнення поверхонь деталей, слід перш за все визначити їхню форму та конфігурацію. Оскільки зазор між зміцнювальною

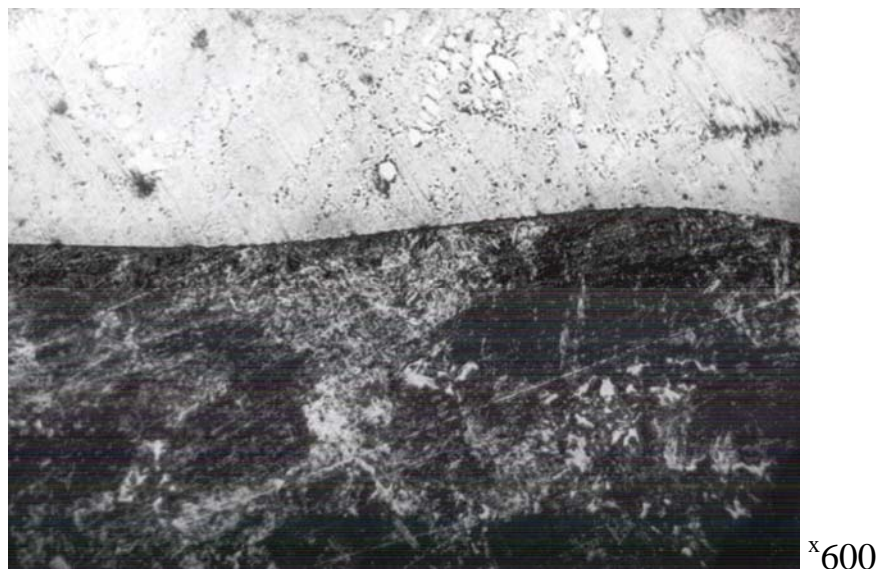


Рис. 2. Зміцнений борований шар, отриманий економічним способом зміцнення на сталі 45

деталлю та індуктором має складати визначену величину, то конфігурація індуктора має повторювати конфігурацію зміцнювальної поверхні деталі.

Найчастіше, зміцнювальні поверхні поділяють на три групи: поверхні обертання, площинні поверхні та поверхні складної конфігурації (фасонні). Для кожного типу поверхні, котра зміцнюватиметься, слід підібрати або виготовити індуктор, який повторюватиме її профіль.

Найчастіше зміцнюються поверхні обертання (рис. 3) та площинні поверхні (рис. 4). Це поверхні пар тертя «вал–втулка» або «повзун–напрямна».

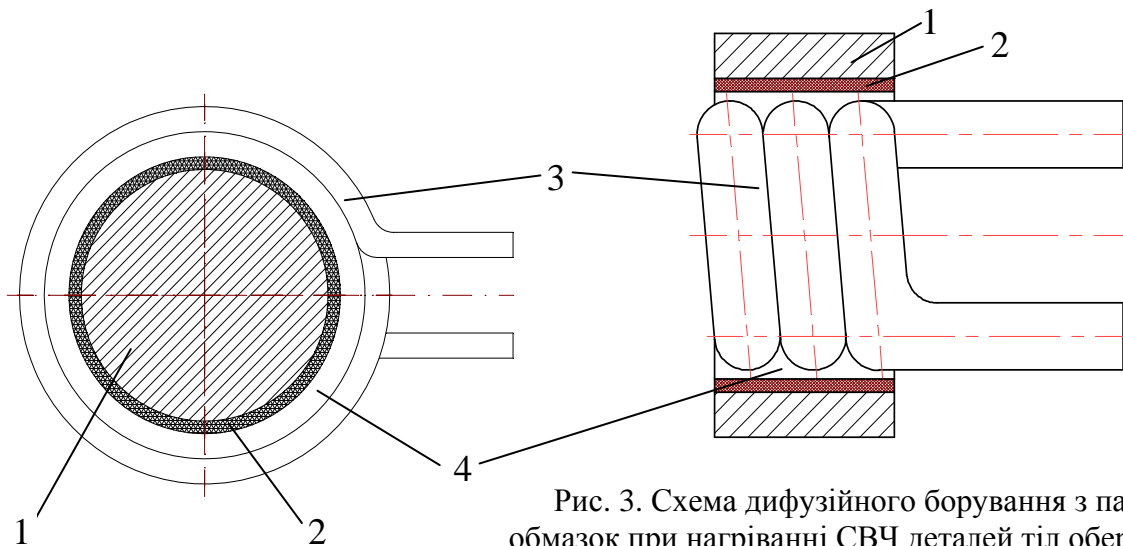


Рис. 3. Схема дифузійного борування з паст і обмазок при нагріванні СВЧ деталей тіл обертання: 1 – зміцнювальна деталь; 2 – обмазка; 3 – індуктор; 4 – зазор між деталлю та індуктором

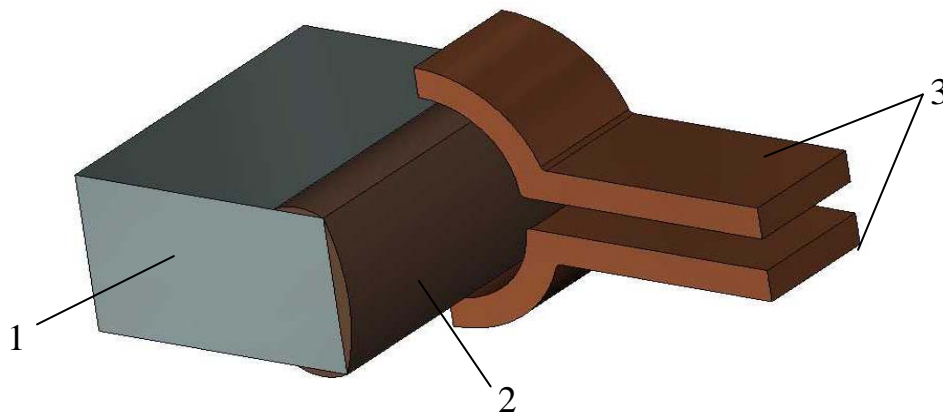


Рис. 4. Схема дифузійного борування з паст і обмазок при нагріванні СВЧ плоских деталей: 1 – зміцнювальна деталь; 2 – обмазка; 3 – індуктор

Для поверхонь складної конфігурації, які зустрічаються значно рідше, слід виготовляти індуктори за їхнім профілем та розмірами.

При виготовленні індукторів слід враховувати умову, що даний спосіб зміцнення часто використовується для зміцнення не всієї поверхні деталі, а лише її робочої поверхні (робочих поверхонь).

Також слід враховувати тип кріплення індуктора до установки СВЧ і величину та тип подачі охолоджувальної рідини по порожнинах індуктора.

Зміцнення дослідного зразка (рис. 5) зі сталі 45 здійснюється шляхом нанесення на попередньо очищену та знежирену поверхню обмазки, до складу якої входить (мас. %): карбід бору – 48; кріоліт – 16; оксид заліза – 4; фторид

натрію – 4; рідке скло – 8; розчин 90% клею БФ і 10% ацетону – 20, і сушіння цієї обмазки на повітрі [4].

Після цього зміцнювальну деталь з нанесеною обмазкою встановлюють в обертальні центри установки СВЧ і нагрівають при температурі 1150°C протягом 35 секунд струмами високої частоти потужністю 100 кВт, частотою 0,066 МГц.

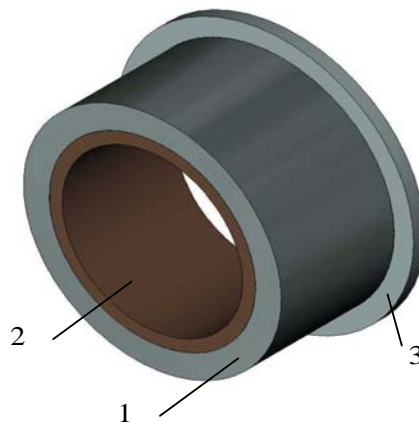


Рис. 5. Приклад втулки зі сталі 45, зміцненої дифузійним боруванням з нагріванням СВЧ: 1– втулка; 2 – борвмісна обмазка; 3 – бортик

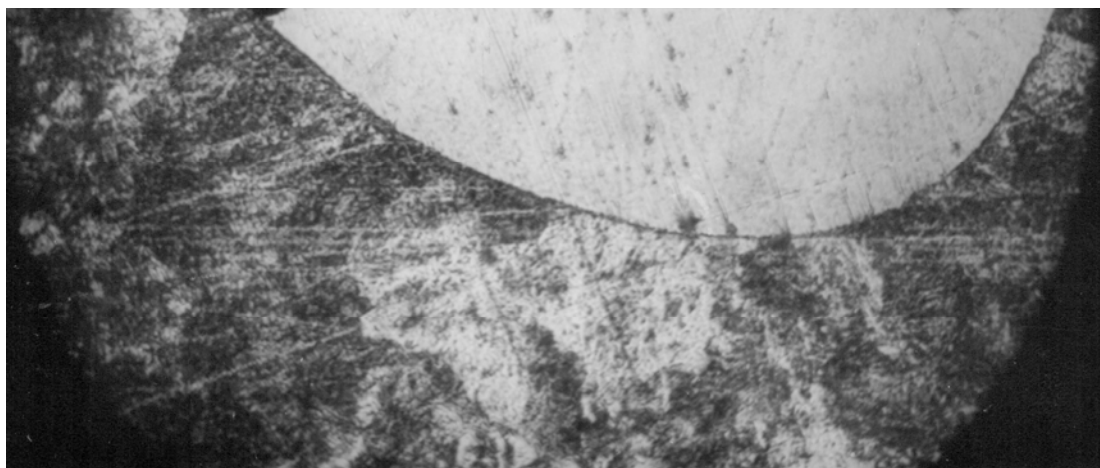
Готову зміцнену втулку закріплюють в отвір маточини відновлюваної деталі. При потребі проводиться фінішна обробка робочої поверхні деталі вже в зборі.

Сформований зміцнений шар (рис. 6) має структуру білих шарів і містить бориди, має товщину 160 мкм та мікротвердість не менше 8 ГПа.

При дослідженні морфології зміцнюючого покриття після дифузійного борування з окремих обмазок із нагріванням струмами високої частоти було виявлено, що покриття не є суцільне по всій зміцнювальній поверхні. Структура такого покриття була несучільною, «плямистою». Боридне покриття зміцнює біля 90–95% поверхні. Така будова зміцнених шарів дозволяє говорити про вибірковість насичення із обмазок за прийнятими режимами. Причиною цього може бути незначне видалення обмазки під час нагрівання струмами високої частоти, і відповідно, нестача джерела дифузійного елемента в цих місцях.

Дана будова зміцненого шару, за оптимальної пропорції та розмірами твердих і м'яких ділянок під час роботи спряжених деталей машин, реалізуватиме процес вибіркового зношення на робочій поверхні – м'якших за твердістю ділянок, згідно з принципом Шарпі. Утворені зношені ділянки

служуватимуть резервуарами для мастила, яке буде резервом для мастила, а також резервуарами для збору продуктів зношення. Така реалізація схеми зношення подібна до зношення композитного матеріалу, яке на сьогодні є найбільш перспективним.



450

Рис. 6. Будова зміцненого борованого шару, отриманого на сталі 45

Бор відноситься до елементів з невеликим атомним радіусом ($0,91\text{\AA}$), що сприяє дифузії бору в сталь. Бор стоїть на границі між елементами, що мають мінімальні радіуси, і які дифундують в залізо шляхом вникнення (водень, азот, вуглець), і елементами, що дифундують повільніше – шляхом заміщення. Дослідники схиляються до думки, що бор утворює розчин заміщення із α -залізом і розчин вникнення із γ -залізом [5].

Розчинність бору в α -залізі і γ -залізі невелика. Після насичення заліза бором під мікроскопом спостерігається лише зона шару реакційної дифузії (зона боридів). У системі В–Fe реакційна дифузія здійснюється переважно шляхом дифузії бору через боридний шар до основного фронту реакції, що розміщеному на між фазних границях залізо – борид Fe_2B і борид Fe_2B – борид FeB . Очевидно, бор дифундує через ґратку боридів у вигляді додатних іонів.

Мікротвердість зміцненого шару (рис. 7), отримана на сталі 45 становить не менше 8 ГПа. Товщина зміцненого дифузійного шару становить від 160 мкм. Шорсткість складає R_a 1,6 – 1,25.

Такі показники зміцненого шару, отриманого боруванням із обмазки та нагріванням струмами високої частоти є достатніми для зміцнення переважної кількості швидкозношуваних деталей машин з точки зору їхньої стійкості до зношування, а відповідно, надійності та довговічності деталей, зміцнених даним способом.

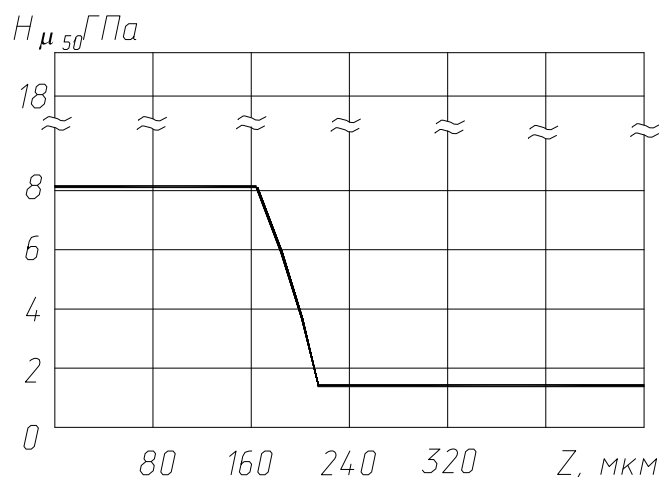


Рис. 7. Мікротвердість зміцненого боруванням шару, отриманого на сталі 45

Товщина отриманого зміцненого шару дозволяє використовувати для таких деталей метод ремонтних розмірів, що значно спрощує та здешевлює багаторазове відновлення та ремонт.

Висновки.

1. Використання дифузійного борування в обмазках із нагріванням струмами високої частоти, внаслідок фізико-хімічних особливостей елементу бору є перспективним методом поверхневого зміцнення деталей машин будівельної техніки та споріднених виробів.

2. Застосування зв'язки: 90% клею БФ і 10% ацетону практично у всіх випадках дає позитивний ефект. Використання інших рецептур зв'язок призводить до налипання обмазок до зміцнювальної поверхні, або навпаки, до здування їх на етапі нагрівання струмами високої частоти.

3. Велику роль в процесі відіграють такі складові основної частини обмазки, як активатори. Досліди показали, що вони суттєво впливають на товщину борованого шару. Найефективнішими виявився NaF. Активатори NaCl і Al₂O₃ не дають очікуваного ефекту.

4. Позитивним є використання установки струмів високої частоти. Це скорочує тривалість борування до десятків секунд. При цьому значно збільшується швидкість нагрівання, що забезпечує структуру сталі із дрібнозернистим аустенітом. Така структура підвищує дифузійну проникливість бору в серцевину металу і його міцність в цілому. Прискорення швидкості нагрівання і, відповідно, часу термічної витримки дає змогу підвищити температуру нагрівання на 150–200°C без загрози змінити структуру металу.

5. Найбільший ефект досягається на нелегованих вуглецевих сталях, що дає здешевити вартість зміцнених деталей, значно покращивши їхні основні експлуатаційні характеристики.

6. Регулюючи режимами нагрівання, можна отримати несучільний («плямистий») борований зміцнений шар, який добре працюватиме в умовах інтенсивного зношування. Зношування м'якої фази поверхні відбуватиметься інтенсивніше, що створюватиме зношені ніші, де накопичуються мастило і продукти зношування.

7. Даний спосіб зміцнення дає можливість при потребі зміцнювати лише окремі робочі поверхні деталей, в т.ч. великогабаритних деталей.

8. Спосіб є економічним, оскільки застосування нагрівання СВЧ забезпечує швидке (обчислюється десятками секунд) нагрівання, не вимагаючи спеціальної попередньої підготовки деталі з обмазкою для захисту від окислення.

Література

1. Лахтин Ю.М. Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1980. – 487 с.
2. Л.Ф. Колисниченко, Н.Н. Голего. О влиянии некоторых видов упрочнения на трение и износ металлов // Физико-химическая механика материалов, 1967, Т. 3, № 6, С. 696–722.
3. Л.Г. Ворошнин. Борирование промышленных сталей и чугунок. (Справочное пособие)., – Минск, «Белорусь» 1981. 205 с. ил.
4. UA 81434 C2 Патент України на винахід № 81434 „Спосіб одержання дифузійного борованого покриття на залізобуглецевих сплавах” від 10 січня 2008 р. Стецько А.
5. Mc. Bride C.C., Spethak I.W., Speiser R. “Tr. Am. Eos. Metals”, 1954, №46, p.449.

Аннотация

Приведены результаты в области разработки способов диффузионного борирования сопряженных поверхностей деталей строительных машин и оборудования. Разработаны новые обмазки и экономные режимы борирования с применением нагрвания токами высокой частоты для упрочнения эксплуатационных поверхностей быстроизнашиваемых деталей.

Ключевые слова: диффузионное борирование, обмазка, упрочнение поверхностей деталей.

Abstract

The optimal procedures for the obtaining of diffusion boron coatings on the steels of different classes have been proposed. The microstructure and physical properties of boren steels.

Keywords: diffusion boron, coating, hardening surfaces of parts.