

КАРБОБОРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Левківський О.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Ткачук В.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Бариллович Л.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Дулеба А.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

CARBOBORONIZING OF LOW-CARBON STEEL PARTS

Dmytrychenko M.F., Doctor of Science in Technology, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Levkivskiy O.P., Doctor of Science in Technology, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Tkachuk V.M., PhD in Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Barylovych L.P., PhD in Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Duleba A.D., PhD in Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine

КАРБОБОРИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Дмитриченко Н.Ф., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Левковский А.П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Ткачук В.Н., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Бариллович Л.П., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Дулеба А.Д., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

В сучасному машинобудуванні використовується велика кількість різних сталей і сплавів для виготовлення деталей, які працюють в складних трибологічних умовах і при високих температурах. Це, насамперед, значна кількість різноманітних шестерень, валів, підшипників, осей, а також штампів для гарячого штампування. Для надання їм необхідних фізико-механічних властивостей, надійності та довговічності часто застосовують дефіцитні, коштовні сталі та сплави, які вимагають довготривалої термічної та хіміко-термічної обробки.

З метою економії дорогих легованих сталей часто використовують сталі звичайної якості, для яких потім проводять поверхнєве зміцнення і надають їм необхідних властивостей. Для цього використовують цементацію поверхні, яка зазнає зносу [1, 7].

Сучасні технологічні процеси цементування деталей характеризуються значною довготривалістю, а після насичення поверхні деталі вуглецем потребують складних процесів термічної обробки. Крім того, нерівномірність за товщиною покриття поверхні деталі цементованим шаром призводить до виникнення тріщин та деформації деталі.

Замість цементування в даний час у виробництві почали використовувати дифузійне борування – насичення поверхні деталі бором, а також іншими хімічними елементами [2, 8, 9]. Всі ці процеси порівняно довготривалі і вимагають значної техніко-технологічної підготовки.

Процес борування має ряд переваг в порівнянні з іншими процесами хіміко-технічної обробки. Але рівномірного шару борованої поверхні не завжди можна досягнути (рис. 1).

В останні роки, як в машинобудуванні, так і в ремонтному виробництві з'явився новий метод зміцнення поверхні деталей, які працюють в складних трибологічних умовах. Карбоборування – це метод, в основному, одночасного дифузійного насичення поверхні деталі вуглецем і бором. В

літературі описані методи насичення поверхні не тільки бором, але й іншими компонентами (кремній, азот) [7,10].



Рисунок 1 – Мікроструктура борованої сталі 10 (вуглець при боруванні не використовувався), x100

Насичення робочої поверхні деталей вуглецем і бором має істотні переваги. Так, в результаті утворення великої кількості центрів кристалізації нових фаз і структур, якими додатково являється вуглець, утворюється ультрадисперсна структура поверхневого шару. Цей шар утворюють карбоборозалісні системи Fe_2B , FeB , $Fe_m(C,B)_n$, які мають високу твердість ($HRC\ 70\dots 80$) та зносостійкість і жаростійкість. Ці фазові й структурні системи в даний час одержують в твердому стані при дуже високих температурах ($1050\dots 1180^\circ C$) і тривалому часі карбоборування (8,5...10 год). Але методи карбоборування [4, 5, 6] та склад сумішей для цього складні і коштовні. Так, для цих сумішей часто використовують: гексаборид лантану (LaB_6); борофтористий калій (KBF_4); хлористий амоній (NH_4Cl); бор-нітрид-кремнієва кераміка, абразивний порошок карбіду бору (B_4C); тетраборофторид амонію (NH_4BF_4); нітрид бору (BN -ельбор); оксид кремнію (SiO_2); різні карбюрізатори, особливо графіт; наплавочні порошки (типу ПГ) та інші, які для карбоборування потребують високих температур нагріву ($1100\dots 1200^\circ C$).

Це часто призводить до нерівномірної товщини зміцненого поверхневого шару та неприпустимої пористості, одержання в поверхневому шарі крихкої високобористої фази з низькими корозієстійкістю, зносостійкістю та частому виникненню мікротріщин. Нерівномірна товщина борованого шару та його грубо-кристалічна будова викликає додаткові напруження у деталі після насичення бором і потребує проведення довготривалої механічної обробки.

Сучасні процеси карбоборування також являються енергозатратними, довготривалими і, в значній мірі, екологічно шкідливими через складні карбоборовмісткі суміші, які використовують в якості теплоносія. Відомі із літератури суміші для карбоборування [6, 7], як правило, містять 0,3...0,6% вуглецю. Деякі дослідники пропонують вводити від 8 до 11% графіту. Вуглець вводять в поверхневий шар сталей в основному електровибуховим способом [3, 5, 6]. Це значно ускладнює технологію карбоборування і не сприяє її широкому впровадженню у виробництво.

В наших дослідженнях була поставлена задача усунути існуючі проблеми сучасного карбоборування такі, як багатокомпонентність і коштовність суміші для карбоборування, довготривалість процесу карбоборування, складність технології, виключивши насичення вуглецем фізико-динамічні методи, а також істотно підвищити якість карбоборованої поверхні за рахунок отримання дисперсної структури зміцненого поверхневого шару та рівномірної його товщини, зменшити внутрішню напруженість шару та зменшити кількість крихкої високобористої фази в поверхневому шарі за рахунок збільшення швидкості процесу карбоборування, використати при цьому дешеві матеріали і, головне, одержати двошарове покриття – боридне і високо-вуглецеве, з яких можна формувати різні структури і фази тепловим впливом. Однією із задач дослідження було одержання поверхневого шару деталі твердістю $HRC\ 70\dots 80$, який зберігає її до температури $1000^\circ C$ і вище. Це дозволить замінити процес цементації деталей, які працюють в складних трибологічних умовах, але при температурах не вище $250^\circ C$, які допускає цементація, а також замінити високолеговані жаростійкі сталі для штампів низьколегованими, або низьковуглецевими.

Для дослідження були використані універсальні електричні печі нагріву деталей та існуючі прилади контролю температури і тривалості процесу. Мікроструктура зразків перевірялась і фотографувалась на металографічних мікроскопах нового покоління. Замір мікротвердості проводили на приладі М1-400 фірми Лесо при навантаженні 10 г.

Для експериментів використовували сталі 10 і 20 ДСТУ 1030-2004. Шліфи виготовляли на універсальних верстатах. Фазовий склад визначали за допомогою рентгенівської установки *УРС-50U* та *Сатеса*. Компоненти для розробки сумішей при карбоборуванні вибирали на основі раніше досліджених і запатентованих нами [1]. Вуглець для дослідження використовували аморфного атомно-молекулярного алотропічного стану, а також – фулерени C_{60} . Кількість вуглецю брали у відсотках від загальної маси боровмісткого складу (20, 40, 50 і 60%). Температура і час карбоборування були вибрані із попередніх наших досліджень [1]. Такі режими пояснюються тим, що їх зміна призводить, або до збільшення швидкості насичення, або до зміни товщини карбоборованого шару. Його склад і структура можуть змінюватись не істотно.

Для дослідження був вибраний наступний склад суміші:

- карбід бору (B_4C) – 72...77%;
- бура (NaB_4O_7) – 12...17%;
- фтористий літій (LiF) – 7...12%.

Додатково до цієї суміші був введений вуглець в кількості 20...60% від загальної маси компонентів.

Результати досліджень (вибірково) наведені в табл. 1.

Як видно з табл. 1, із збільшенням кількості вуглецю в суміші збільшується кількість високобористої фази FeB . Із зменшенням до 22% вуглецю істотно збільшується кількість в'язкої низькобористої фази Fe_2B (до 90%).

Таблиця 1 – Оптимальний склад суміші (порошків) і режими карбоборування для одержання в поверхневому шарі деталі максимальної кількості бориду Fe_2B , максимальної товщини борованого шару, карбощару та необхідної мікротвердості

Порядковий номер експерименту	Температура карбоборування $T_{кб}, ^\circ C$	Час карбоборування, хв	Фази в поверхневому шарі		Доданий вуглець, %	Товщина борованого шару, μm	Товщина карбощару, $\delta_{кбш}, \mu m$	Мікротвердість, МПа	Склад порошку для борування		
			Fe_2B , %	FeB , %					B_4C , %	$Na_2B_4O_7$, %	LiF , %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	950	60	30	70	35	50	19	15000	75	15	10
2	960	64	50	50	30	54	20	15100	66	32	2
3	965	66	60	40	28	55	21	15300	50	34	16
4	970	69	70	30	26	56	22	15400	55	34	11
5	980	72	80	20	24	58	23	15500	48	30	22
6	1000	76	90	10	22	60	24	15600	35	37	28

Товщина борованого шару, при цьому, також збільшується, а карбонідного шару збільшується незначно, мікротвердість зростає.

В табл. 1 наводяться дані, які найбільше досліджені при малих кількостях вуглецю в суміші. Дані, одержані при значному збільшенні вуглецю в суміші (до 60%), видні на фотографіях мікроструктури. Так, збільшення вуглецю в суміші до 50% призводить до збільшення в карбоборованому шарі вуглецевих сполук цементитного типу (рис. 3). Укорінений вуглець майже повністю іде на утворення цементитного підшару, який розміщений між боридним шаром і матрицею.

При малих кількостях вуглецю в порошок (до 30%) при карбоборуванні утворюється шар механічної суміші цементиту і фериту – зернистий перліт (рис. 2, 6 і табл. 2).

При цьому боридний шар містить між кристалами боридів (рис. 2) велику кількість зернистого перліту. Кристали боридів мають форму циліндрів, які укорінені в матричний метал. Із табл. 1 видно,

що зміна кількості фтористого літію (LiF) в суміші на загальні закономірності утворених фаз і структур не впливає. Фтористий літій призводить тільки до прискорення процесів хімічних реакцій в системі [1].

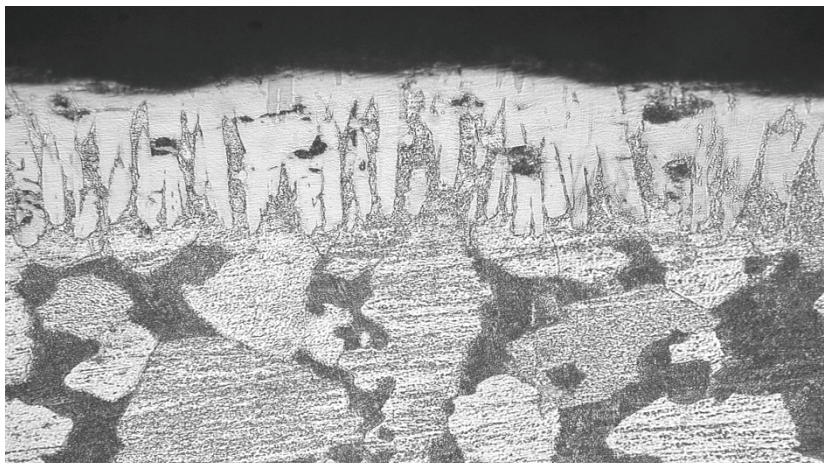


Рисунок 2 – Мікроструктура карбоборованої сталі 10, одержаної при 25...30% вуглецю в суміші, x320

Необхідно відмітити, що значне збільшення вуглецю в суміші для карбоборювання (більше 60%) призводить до утворення боридного шару з великою кількістю пор, які містять в собі графіт. Цей графіт утворюється в результаті дифузії великої кількості вуглецю, який вступає в хімічну реакцію з залізом і утворює цементит, який є нестабільною фазою, і при високій температурі перетворюється в графіт.

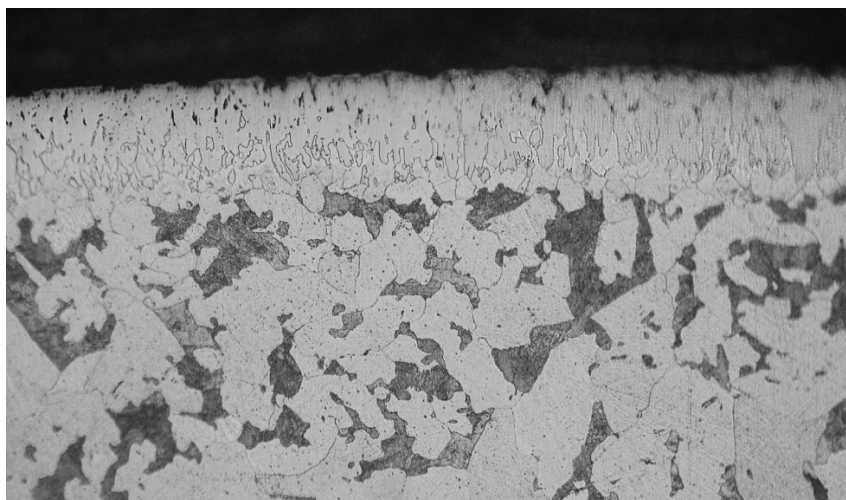


Рисунок 3 – Мікроструктура карбоборованої сталі 10, одержаної при 50% вуглецю в суміші, x200

Введення в склад боровмістких сумішей запропонованої кількості вуглецю не тільки прискорює процес поверхневого зміцнення деталей машин та підвищує їх трибологічні характеристики (за рахунок підвищення твердості), тобто підвищує їх довговічність і надійність в роботі, але являється науковою системою для перспективних наукових досліджень щодо поверхневого зміцнення деталей машин і одержання високих результатів в металознавстві для практичних цілей.

Результати дослідження мікроструктури карбоборованих деталей в запропонованій нами суміші свідчать, що раніше жодним методом не були досягнуті такі високоякісні, міцні покриття залізовуглецевих сплавів.

На рис. 1, 3, 4, 5, 6 показані порівняльні мікроструктури борованої поверхні сталі без добавки в боровмішуюче середовище вуглецю (рис. 1) та з добавкою вуглецю при боруванні (рис. 3, 4, 5, 6).

Як видно з наведених структур, поверхня карбоборованої сталі має рівномірну товщину шару (рис. 3, 4, 5, 6), високу дисперсність структури (рис. 3, 4) та включення вуглецевих сполук у всіх фазах зміцненого шару (рис. 3).

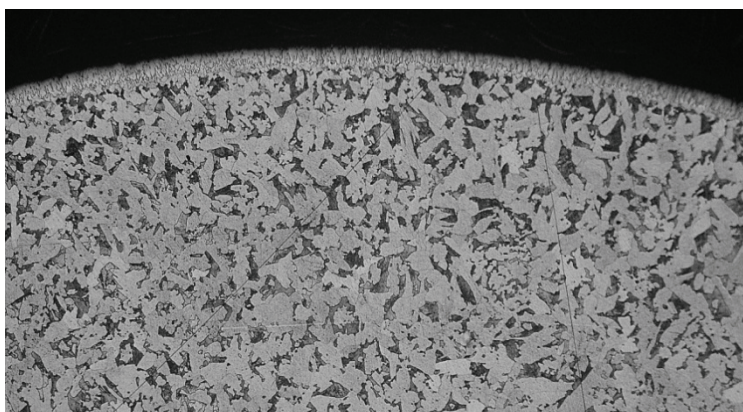


Рисунок 4 – Мікроструктура карбоборованої сталі 20, одержаної при 50% вуглецю в суміші, x50

Необхідно відмітити, що висока дисперсність шару являється результатом утворення великої кількості центрів кристалізації нових фаз і структури за рахунок атомів вуглецю, введеного в порошкову суміш для карбоборювання.

На рис. 2 і 3 видно, що мікроструктура поверхневого шару складається із 2 частин: верхнього боридного шару і нижнього карбонільного. Верхній шар являє собою звичайні бориди заліза (високобористий і низькобористий). Їх мікротвердість змінюється від 20600 МПа до 10510 МПа на глибині 80...100 мкм (табл. 2).

Таблиця 2 – Мікротвердість та мікроструктура карбоборованого шару сталі 10

№ заміру	Мікротвердість, МПа	Мікроструктура
1	20600	Карбобориди FeB
2	16040	Карбобориди FeB
3	15440	Карбобориди FeB
4	12880	Бориди Fe_2B
5	11870	Бориди Fe_2B
6	11590	Бориди Fe_2B
7	10510	Бориди Fe_2B
8	9160	Бориди + перліт (мех.сум.)
9	6130	Перліт + карбід (евтектоїдна мех.сум.)
10	5510	Перліт + карбід (евтектоїдна мех.сум.)
11	4310	Перліт + карбід (евтектоїдна мех.сум.)
12	3800	Перліт + карбід (евтектоїдна мех.сум.)
13	2570	перліт зернистий
14	2290	перліт зернистий
15	1850	ферит
16	1680	ферит
17	1530	ферит

Аналіз мікротвердості цих шарів свідчить, що поверхня борованого шару складається з двох фаз: на глибині до 40 мкм – фаза високобориста (FeB), на глибині більше 40 мкм – переважає фаза низькобориста (Fe_2B). При товщині шару в 100 мкм розподіл середніх значень мікротвердості боридів до матричного металу наводиться в табл. 2. Одержані поверхневі шари боридів і карбонільні мають різну фазову і структурну складові, які залежать від кількості вуглецю, доданого в загальний

склад суміші. Так, невелика кількість вуглецю в суміші (до 40%) призводить до утворення зернистого перлітного шару, який знаходиться між матричною системою і боридним шаром (рис. 2, 6).

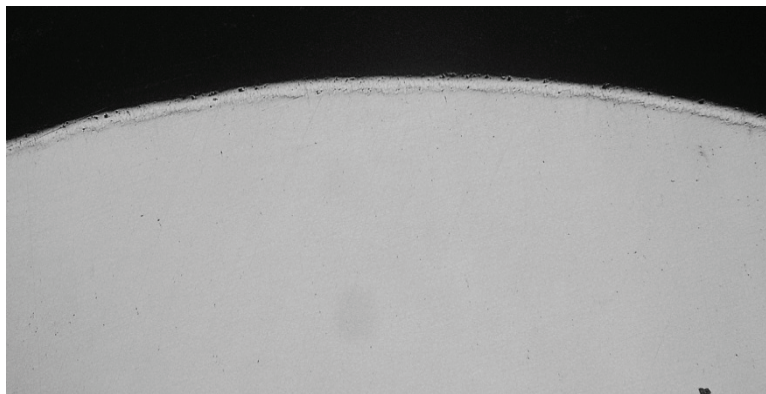


Рисунок 5 – Мікроструктура карбоборованої сталі 10 (нетравленого шліфа), x50

Збільшення вуглецю в порошок вище 50% приводить до утворення карбонільного цементитного шару (рис. 3 – біла полоса). Це свідчить про те, що вуглець в процесі карбоборювання дифундує в поверхню металу раніше бору і утворює певні структури і фази.

Одержаний перлітний шар дає змогу після гартування отримати тверду мартенситну структуру.

Наявність нижньої частини карбоборованої поверхні має велике значення для зміцнення деталей і забезпечення необхідних трибологічних характеристик. При невеликих, не динамічних навантаженнях, відносно м'яка перлітна частина шару забезпечує низькі напруження в боридному шарі і високу надійність та довговічність роботи деталі.

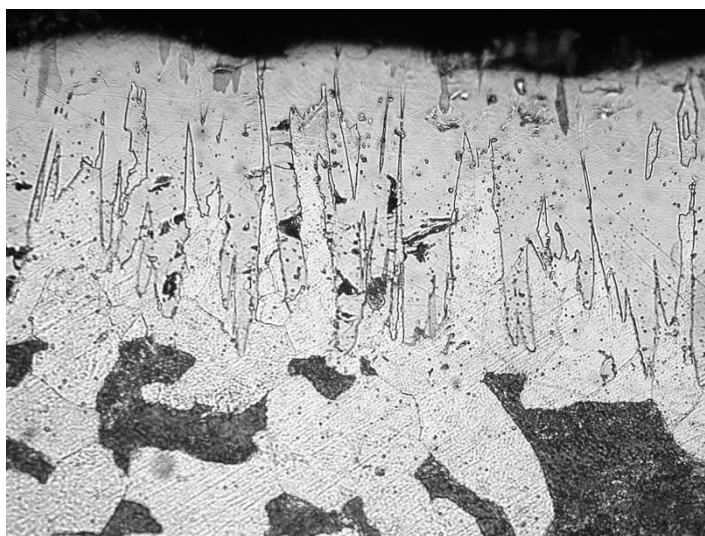


Рисунок 6 – Мікроструктура карбоборованої сталі 10, одержаної при 40% вуглецю в суміші, x500

При високих динамічних навантаженнях на деталь та інтенсивному зношуванні, нижній перлітний шар після гартування і низького відпуску деталі додатково забезпечує утворення твердої мартенситної структури та збільшує її довговічність.

Висновки. 1. Розроблений і досліджений склад порошкової суміші для карбоборювання сталевих деталей характеризується високою технологічністю, простотою одержання і застосовування. При цьому, не потрібно складного коштовного устаткування і великої кількості компонентів для цієї суміші.

2. Високі фізико-механічні властивості поверхневого шару деталей забезпечуються самою технологією карбоборювання.

3. Різна кількість вуглецю в суміші для карбоборювання призводить до одержання різного структурного і фазового складу поверхневого шару, а значить і різних фізико-механічних властивостей робочих поверхонь деталей.

4. Введення в склад суміші певної кількості вуглецю дає можливість практично керувати фазовим і структурним складом поверхневого шару деталі і його властивостями.

5. Оптимальною кількістю введеного в суміш вуглецю можна вважати 30...60% від загальної маси боровмісткого порошку. Його збільшення призводить до виникнення в шарі графітних пор і до зниження твердості поверхні.

6. Введення в суміш для карбоборювання вуглецю збільшує швидкість цього процесу, приводить до утворення рівномірного покриття і значного підвищення якості зміцненої поверхні.

7. Карбоборювання в запропонованих складах суміші дає змогу замінити такі технології, як цементування, азотування та ін.

8. Карбоборювання являється також перспективним для технологій зміцнення поверхонь деталей із різних металів, як у машинобудуванні, так і в ремонтному виробництві.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пат. 10376А Україна, МПК С 23 С 8/68. Склад для безокисного борювання сталевих та чавунних виробів / Канарчук В.Е., Барілович Л.П., Ткачук В.М. та ін.; заявник Український транспортний університет. – Заявл. 23. 12.93, опубл. 25.12.96.

2. А.с. 1070207 ССРСР, МПК С 23 С9/02. Порошкообразный состав для комплексной химико-термической обработки изделий из высоколегированных сталей и твердых сплавов / А.Н. Тарасов, М.С. Белоусов, Р.И. Кузнецова, А.Д. Теслер, Л.Е. Гаршина (СССР). – № 3486006/22-02; заявл. 26.08.82, опубл. 30.01.84, БИ. №4.

3. Электровзрывное легирование железа углеродом: рельеф поверхности, фазовый состав и дефектная субструктура / Багаутдинов А.Я., Будовских Е.А. [та ін.] // Изв. вузов: Физика. – 2005. – №9. – С. 36–41.

4. Боридные покрытия на предварительно цементированной стали 20 / Кухарева Н.Г. [та ін.] // Вестник БНТУ. – 2011. – №2. – С. 24–27.

5. Электронно-микроскопические исследования поверхностных слоев никеля после электровзрывного науглероживания и карбоборирования / Багаутдинов А.Я. [та ін.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – №2. – С. 50–57.

6. Особенности электровзрывного карбоборирования железа и никеля / Будовских Е.А. [та ін.] // Деформация и разрушение материалов. – 2006. – №3. – С. 37–43.

7. Карбоборирование феррито-перлитовой стали / Фильчаков Д.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – №8. – С. 71–72.

8. Пат. № 2276202 Российская Федерация, МПК С23С8/72. Способ карбоборирования полых деталей из тугоплавких металлов и высоколегированных сталей / Тарасов А.Н., Тилипалов В.Н., Макаровский В.А. – № 2004137587/02; заявл. 22.12.04, опубл. 10.05.06, Бюл. 13.

9. Трехкомпонентное карбоборирование алкенов [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <http://wiki.ru/sites/khimiya/id-news-504766.html>. – Назва з екрана.

10. Transition zone forming by different diffusion techniques in borating process of ferrite-perlite steels under the thermocyclic conditions / Guriev A.M., Kozlov E.V. [etc.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2004. – №2.

REFERENCES

1. Pat. 10376A Ukrayina, MPK S 23 S 8/68. Sklad dlya bezokysnogo boruvannya stalevyx ta chavunnyx vyrobiv / Kanarchuk V.E., Barylovych L.P., Tkachuk V.M. ta in.; zayavnyk Ukrayinskyi transportnyi universytet. – Zayavl. 23. 12.93, opubl. 25.12.96. (Ukr)

2. A.s. 1070207 SSSR, MPK S 23 S9/02. Poroshkoobraznyiy sostav dlya kompleksnoy himiko-termicheskoy obrabotki izdeliy iz vyisokolegированных сталей i tverdyyih splavov / A.N. Tarasov, M.S. Belousov, R.I. Kuznetsova, A.D. Tesler, L.E. Garshina (SSSR). – № 3486006 /22-02; zayavl. 26.08.82, opubl. 30.01.84, BI. №4. (Rus)

3. Elektrovzryivnoe legirovanie zheleza ugleterodom: relef poverhnosti, fazovyyi sostav i defektnaya substruktura / Bagautdinov A.Ya., Budovskih E.A. [ta in.] // Izv. vuzov: Fizika. – 2005. – №9. – S. 36–41. (Rus)

4. Boridnyie pokryitiya na predvaritelno tsementirovannoy stali 20 / Kuhareva N.G. [ta In.] // Vestnik BNTU. – 2011. – №2. – S. 24–27. (Rus)
5. Elektronno-mikroskopicheskie issledovaniya poverhnostnyih sloev nikelya posle elektrovzryivnogo nauglerozhivaniya i karboborirovaniya / Bagautdinov A.Ya. [ta in.] // Fizika i himiya obrabotki materialov. – 2006. – №2. – S. 50–57. (Rus)
6. Osobennosti elektrovzryivnogo karboborirovaniya zheleza i nikelya / Budovskih E.A. [ta in.] // Deformatsiya i razrushenie materialov. – 2006. – №3. – S. 37–43. (Rus)
7. Karboborirovanie ferrito-perlitovoy stali / Filchakov D.S. // Sovremennyye naukoemkie tehnologii. – 2008. – №8. – S. 71–72. (Rus)
8. Pat. №2276202 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C23C8/72. Sposob karboborirovaniya polyih detaley iz tugoplavkih metallov i vyisokolegirovannyih staley / Tarasov A.N., Tilipalov V.N., Makarskiy V.A. – № 2004137587/02; zayavl. 22.12.04, opubl. 10.05.06, Byul. 13. (Rus)
9. Trehkomponentnoe karboborirovanie alkenov [Elektronniy resurs] – Rezhim dostupu: URL: <http://wiki.ru/sites/khimiya/id-news-504766.html>. – Nazva z ekrana. (Rus)
10. Transition zone forming by different diffusion techniques in borating process of ferrite-perlite steels under the thermocyclic conditions / Guriev A.M., Kozlov E.V. [etc.] // Fundamentalnyie problemyi sovremennogo materialovedeniya. – 2004. – №2. (Eng)

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Карбоборувння деталей із низьковуглецевих сталей / М.Ф. Дмитриченко, О.П. Левківський, В.М. Ткачук, Л.П. Бариллович, А.Д. Дулеба // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31).

Сучасне виробництво та ремонт машин вимагають подальшої розробки нових технологій і матеріалів для зміцнення деталей, підвищення їх ресурсу та економічної ефективності. В результаті досліджень, проведених в Національному транспортному університеті, пов'язаних з боруванням та карбоборуванням, розроблений новий, перспективний склад суміші для сучасної технології дифузійного зміцнення – карбоборування.

Карбоборування – це процес одночасного дифузійного насичення поверхні металевої деталі бором і вуглецем. Для цієї технології нами був вперше розроблений порошковий склад карбоборувміщуючої суміші, який включає карбід бору B_4C (72...77%), бури $Na_2B_4O_7$ (12...17%), фтористого літію LiF (7...12%) та додатково атомно-молекулярного вуглецю, в тому числі фулеренів, в кількості від 30 до 60% загальної маси вказаних вище компонентів.

В результаті досліджень одержали на поверхні деталі двошарове карбоборопокриття високої якості. Твердість поверхневого шару досягає $HRC\ 70...80$.

Карбоборидна поверхня складається із фази карбідів бору (низько- і високобористої) і структури зернистого перліту. Це дозволяє значно підвищити трибологічні властивості зміцненої поверхні деталі. Додатки вуглецю в суміш забезпечують високу дисперсність покриття, його рівномірність на всій поверхні та зниження внутрішніх напружень і виключення мікротріщин в деталі.

Дослідження, крім того, показали, що введення вуглецю в склад для карбоборування значно прискорює цей процес і являється перспективним при виробництві і відновленні деталей машин із різних металів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КАРБОБОРУВАННЯ, ВНУТРІШНІ НАПРУЖЕННЯ, ФУЛЕРЕНИ, ФАЗИ І СТРУКТУРИ, МІКРОТРИЩИНИ.

ABSTRACT

Dmytrychenko M.F., Levkivskiy O.P., Tkachuk V.M., Barylovych L.P., Duleba A.D. Carboboronizing of low-carbon steel parts. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2015. – Issue 1 (31).

The modern production and repair of machinery require a further development of innovative technologies and materials for strengthening of parts, increase in their resource and economic efficiency. The researches on boronizing and carboboronizing conducted in National Transport University have resulted into development of a new, promising heat carrier composition for modern technology of diffusive strengthening – the carboboronizing.

The carboboronizing is a process of simultaneous diffusive saturation of surface of metal parts by boron and carbon. For that technological process the powder mixture of carboboring-containing heat carrier

was developed that consists of boron carbide B_4C (72...77%), borax $Na_2B_4O_7$ (12...17%), lithium fluoride LiF (7...12%) and extra atomic-molecular carbon including fullerene in number of from 30% to 60% of gross mass of the above mentioned components.

The outcome of the research was a two-ply carbon and boron coating of high quality on a surface of parts. The hardness of surface coating reaches $HRC\ 70...80$.

A carboboriding surface consists of the borocarbon (high and low boron) phase and the granular pearlit structure. This allows to greatly raise of a tribological behavior of a strengthening surface of parts. A carbon addition to a heat carrier provides a high dispersion of the surface, its evenness over the surface, the reduce of internal stresses and the exception of microfissures in the parts.

Moreover, the researches has shown that the addition of carbon in the composition for the carboboronizing greatly accelerates of this process and presents a promising element in manufacturing and renovation of machinery parts from different sorts of metal.

KEY WORDS: CARBOBORONIZING, INTERNAL STRESSES, FULLERENE, PHASES AND STRUCTURES, MICROFISSURES.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко Н.Ф. Карбоборирование деталей из низкоуглеродистых сталей / Н.Ф. Дмитриченко, О.П. Левковский, В.Н. Ткачук, Л.П. Барилевич, А.Д. Дулеба // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2015. – Вып. 1 (31).

Современное производство и ремонт машин требуют дальнейшей разработки новых технологий и материалов для упрочнения деталей, повышения их ресурса и экономической эффективности. В результате исследований, проведенных в Национальном транспортном университете, связанных с борированием и карбоборированием, разработан новый, перспективный состав смеси для современной технологии диффузионного упрочнения – карбоборирование.

Карбоборирование – это процесс одновременного диффузионного насыщения поверхности металлической детали бором и углеродом. Для этой технологии нами был впервые разработан порошковый состав карбоборосодержащей смеси, который включает карбид бора B_4C (72...77%), буры $Na_2B_4O_7$ (12...17%), фтористого лития LiF (7...12%) и дополнительно атомно-молекулярного углерода, в том числе фуллеренов, в количестве от 30 до 60% общей массы выше указанных компонентов.

В результате исследований получили на поверхности детали двухслойное карбоборопокрытие высокого качества. Твердость поверхностного слоя достигает $HRC\ 70...80$.

Карбоборидная поверхность состоит из фазы карбидов бора (низко- и высокобористой) и структуры зернистого перлита. Это позволяет значительно повысить трибологические свойства упрочненной поверхности детали. Добавки углерода в смесь обеспечивают высокую дисперсность покрытия, его равномерность на всей поверхности и снижение внутренних напряжений и исключение микротрещин в детали.

Исследования, кроме того, показали, что добавка углерода в состав для карбоборирования значительно ускоряет этот процесс и является перспективной при производстве и восстановлении деталей машин из разных металлов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КАРБОБОРИРОВАНИЕ, ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ФУЛЛЕРЕНЫ, ФАЗЫ И СТРУКТУРЫ.

АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, ректор університету, завідуючий кафедрою виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044) 280-82-03, Україна 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 318.

Левківський Олександр Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, тел. (044) 280-98-05, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 103.

Ткачук Володимир Микитович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, тел. (044) 280-54-95, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 506.

Барилевич Леонід Павлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, тел. (044) 280-54-95, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 506.

Дулеба Андрій Дмитрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, тел. (044) 280-98-05, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 107.

AUTHORS:

Dmytrychenko Mykola Fedorovych, Doctor of Science in Technology, professor, National Transport University, university rector, head of the Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, tel. (044) 280-82-03, Ukraine 01010, Kyiv, Suvorov 1, r.318.

Levkivskiy Oleksandr Petrovych, Doctor of Science in Technology, professor, National Transport University, professor of the Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, tel. (044) 280-98-05, Kyiv, Suvorov 1, r. 103.

Tkachuk Volodymyr Mykytovych, PhD in Technical Sciences, National Transport University, associate professor of the Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, tel. (044) 280-54-95, Kyiv, Suvorov 1, r. 506.

Barylovych Leonid Pavlovych, PhD in Technical Sciences, National Transport University, associate professor the Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, tel. (044) 280-54-95, Kyiv, Suvorov 1, r. 506.

Duleba Andriy Dmytrovych, PhD in Technical Sciences, National Transport University, associate professor of the Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, tel. (044) 280-98-05, Kyiv, Suvorov 1, r. 107.

АВТОРЫ:

Дмитриченко Николай Федорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, ректор университета, заведующий кафедрой производства, ремонта и материаловедения, тел. (044) 280-82-03, Украина 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 318.

Левковский Александр Петрович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры производства, ремонта и материаловедения, тел. (044) 280-98-05, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 103.

Ткачук Владимир Никитович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры производства, ремонта и материаловедения, тел. (044) 280-98-05, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 506.

Барилевич Леонид Павлович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры производства, ремонта и материаловедения, тел. (044) 280-98-05, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 506.

Дулеба Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры производства, ремонта и материаловедения, тел. (044) 280-98-05, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 107.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кузнецов Ю.М., доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», профессор кафедры конструирования верстатив та машин, Київ, Україна.

Сахно В.П., доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой автомобилей, Київ, Україна.

REVIEWER:

Kuznetsov Y.M., Doctor of Science in Technology, professor, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», professor of the Department of Machine Tools and Machinery Systems, Kyiv, Ukraine.

Sakhno V.P., Doctor of Science in Technology, professor, National Transport University, head of the Automobile Department, Kyiv, Ukraine.