

МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ (13, 132, 133)

УДК 621.762

ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ ПОРОШКОВИХ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

Д-р техн. наук О. А. Охріменко, кандидати техн. наук А. В. Мініцький, М. О. Сисоєв,
Н. В. Мініцька (НТУ України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ)

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Д-р техн. наук А. А. Охрименко, кандидаты техн. наук А. В. Миницкий, М. А. Сысоев,
Н. В. Миницкая (НТУ Украины «КПИ имени Игоря Сикорского», г. Киев)

SURFACE HARDENING OF POWDERED IRON-CARBON ALLOYS

Dr. Sc. Sciences O. A. Ohrimenko, PhD A.V. Minitzky, O. Sysoev,
N. V. Minitska (NTU of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv)

Досліджено процес поверхневого термічного оброблення порошкових шаруватих залізовуглецевих сплавів. Встановлено, що легування поверхневого шару карбідом хрому дає

зможу збільшити поверхневу міцність матеріалів після обробки електронним променем у два рази. Проведено дослідження розподілення структурних складових залізовуглецевого сплаву в отриманих зразках при поверхневому термічному обробленні залежно від товщини поверхневого шару.

Ключові слова: поверхнєве термічне оброблення, зміцнення поверхні, мікротвердість, залізовуглецевий сплав, електронний промінь.

Исследован процесс поверхностной термической обработки порошковых слоистых железоуглеродистых сплавов. Исследованиями установлено, что легирование поверхностного слоя карбидом хрома позволяет увеличить поверхностную прочность материалов после обработки электронным лучом в два раза. Также проведены исследования по распределению структурных составляющих железоуглеродистых сплавов при поверхностной термической обработке в зависимости от толщины поверхностного слоя.

Ключевые слова: поверхностная термическая обработка, упрочнение поверхности, микротвердость, железоуглеродистый сплав, электронный луч.

There are many ways to improve the quality of iron-carbon alloys used as structural materials, one of which is surface heat treatment with highly concentrated energy streams. The effect of electron-beam heating on the structure and properties of powder-metal ceramic materials was studied in this work. In order to solve this problem, the following tasks were solved: the study of the influence of the technological parameters of electron-beam processing on the structure and phase composition of the sintered materials on the basis of iron powder with graphite additions, determination of the influence of the thickness of the surface layer on the temperature gradient under the electron beam treatment of the material surface and formation structure, investigation of the influence of the chemical composition and the thickness of the surface layer on the hardness and microhardness of materials after electron beam processing. The advantages of electron-beam processing are shown in comparison with other methods of hardening the surface of parts. The influence of electron-beam processing regimes on the structure and phase composition of layered iron-based powder materials is studied. In the work the process of surface heat treatment of powdered laminated iron-carbon alloys is investigated. It was established that doping of a surface layer with carbide chromium allows to increase the surface strength of materials after treatment with an electron beam twice. Distribution of structural components of iron-carbon alloy under surface heat treatment depending on the thickness of the surface layer is investigated. Research results can be used to create economically alloyed structural iron-carbon alloys, which must have high surface hardness and high bulk strength. It is shown that in the middle of the samples the microhardness is practically the same for all materials and is about 3-4 GPa. On the surface, with a thickness of the upper layer of 0.5-1.0 mm, the average values of microhardness are about 5.0-5.5 GPa. With an increase in the thickness of the layer to 1.5-2.0 mm, the average microhardness reaches about 7.5-9.0 GPa. Surface hardness of materials also increases to 68 HRC with hardness in the middle of about 35-40 HRC. Research results can be used to create economically alloyed structural iron-carbon alloys, which must have high surface hardness and high bulk strength.

Keywords: surface heat treatment, surface strengthening, microhardness, iron-carbon alloy, electronic beam.

Вступ. Термін роботи деталей і вузлів обладнання, пов'язаного з переробкою і транспортуванням абразивних матеріалів на гірничозбагачувальних підприємствах,

промисловості будівельних матеріалів і ряду інших галузей, визначається, в першу чергу, зносостійкістю їхніх робочих поверхонь. Практично все обладнання

промислових підприємств піддається різним видам зношування і потребує ремонту та заміни, що в ряді випадків є економічно не вигідним [1]. У зв'язку з цим пошуки зносостійких матеріалів і технологій, що забезпечують збільшення терміну служби деталей машин, що швидко зношуються, стає першорядним технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо багато способів підвищення якості залізобуглецевих сплавів, які використовуються як конструкційні матеріали, одним з яких є поверхнєве термічне оброблення висококонцентрованими потоками енергії [2, 3]. Це дає можливість вирішувати задачу локального термічного оброблення деталі, що дає змогу інтенсивно передавати енергію у вибрані ділянки матеріалу, в яких потрібно місцево підвищити твердість і зносостійкість [4]. До таких методів належать нагрів за допомогою лазера, електричної дуги, плазми, нагріву з використанням ксенонових ламп та електронного променя [5–7]. Перевагою електронно-променевого нагріву є можливість плавно і в широких межах змінювати потужність тепла, що закладається, а також конфігурацію зони нагріву. Проте, незважаючи на переваги електронно-променевого оброблення, основні напрацювання в галузі поверхнєвого термічного зміцнення деталей стосуються переважно литих сплавів. Вплив електронно-променевого нагріву на структуру та властивості порошкових металокерамічних матеріалів практично не досліджувався.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою даної роботи є дослідження процесу електронно-променевого оброблення двошарового спеченого залізобуглецевого сплаву та вивчення впливу товщини верхнього шару на структуроутворення і твердість сплавів після поверхнєвого термічного оброблення.

Для досягнення мети дослідження було поставлено такі завдання:

1. Дослідити вплив технологічних параметрів електронно-променевого оброблення на структуру та фазовий склад спечених матеріалів на основі залізного порошку з добавками графіту.

2. Визначити вплив товщини поверхнєвого шару на температурний градієнт при електронно-променевому обробленні поверхні матеріалів та формування структури.

3. Дослідити вплив хімічного складу і товщини поверхнєвого шару на твердість та мікротвердість матеріалів після електронно-променевого оброблення.

Основна частина дослідження. Однією із переваг виробів, отриманих методом порошкової металургії, є можливість точного корегування хімічного складу та створення градієнтних шарів по структурі матеріалу. Це дає змогу отримати економічно вигідні сплави, що містять легуючі елементи тільки на робочій поверхні виробу. Так, основна частина зразків виготовлялась із суміші залізного порошку із вмістом графіту 1,4 %, а верхній шар із суміші, що містить 91 % заліза, 4 % графіту і 5 % карбід хрому (Cr_3C_2). Карбід хрому вводився як легуюча складова, що забезпечує високу твердість та зносостійкість матеріалу в результаті поверхнєвого термічного оброблення зразків. При цьому товщина поверхнєвого шару складала 0,5, 1,0, 1,5 та 2,0 мм.

Зразки виготовляли методом статичного пресування на гідравлічному пресі під тиском 800 МПа з подальшим спіканням у захисній атмосфері при температурі 1100 °С протягом 1 години. Поверхнєве термічне оброблення спечених зразків електронним променем проводили в електронно-променевої установці «ЭЛА-б» при режимі, що забезпечував оплавлення поверхні зразків, тобто при температурі вище за 1147 °С (температура утворення легкоплавкої евтектики ледебуриту). В попередніх дослідженнях було показано ефективність поверхнєвого оброблення залізобуглецевих сплавів при мінімальному

часі витримки 1–10 с [8], що забезпечує швидке охолодження і утворення мартенситних зерен внаслідок температурного градієнта між поверхнею і основою.

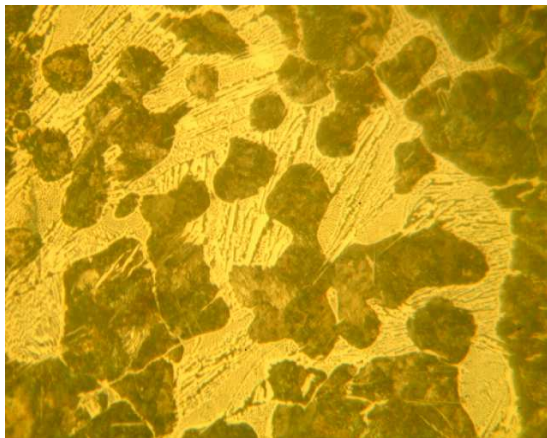
Поверхнєве оброблення електронним променем двохшарових зразків показало, що мікроструктура матеріалів відрізняється залежно від товщини поверхневого шару (рис. 1).

Така відмінність структури пов'язана з тим, що при мінімальній товщині відбувається перерозподіл верхнього шару з основою при оплавленні електронним променем, через що структура поверхні відповідає структурі доєвтектичного чавуну (рис. 1, а, б). При більшій товщині поверхневого шару спостерігається структура білого заєвтектичного чавуну, що складається зі світлих пластин цементиту і ледебуриту, шар основи відповідає заєвтектоїдній сталі, в якій зерна перліту оточені сіткою цементиту (рис. 1, в, г).

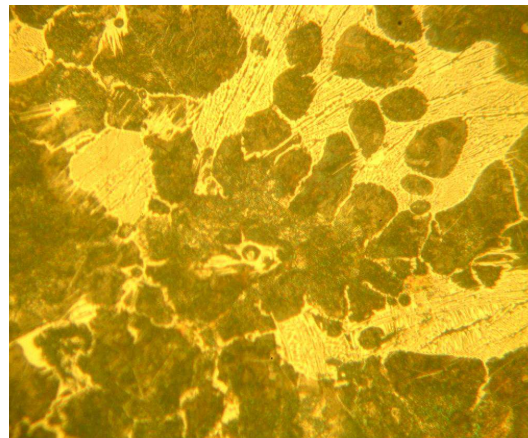
Мікротвердість двохшарових зразків відрізняється залежно від товщини поверх-

невого шару (рис. 2). В середині зразків мікротвердість практично однакова для всіх матеріалів та складає близько 3–4 ГПа. На поверхні, при товщині верхнього шару 0,5–1,0 мм, середні значення мікротвердості складають близько 5,0–5,5 ГПа. При збільшенні товщини шару до 1,5–2,0 мм середні значення мікротвердості сягають близько 7,5–9,0 ГПа.

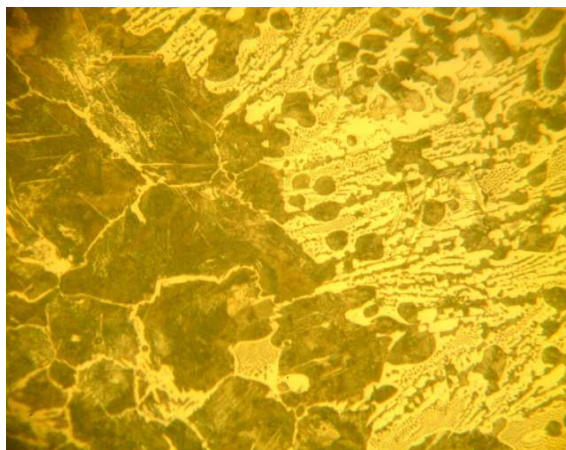
Таким чином, легування поверхневого шару карбідом хрому і застосування поверхневої термічної обробки приводить до збільшення мікротвердості поверхневого шару порошкового матеріалу у два рази, що відбувається завдяки утворенню структури, яка відповідає білому заєвтектичному легуваному чавуну, в якому утворюються карбідні фази Cr_7C_3 , що підтверджують результати рентгенофазового аналізу. Поверхнева твердість матеріалів також збільшується до 68 HRC при твердості в середині близько 35–40 HRC.



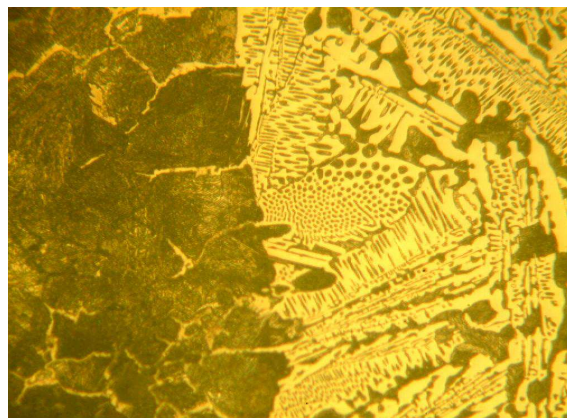
а



б



б



г

Рис. 1. Мікроструктура спечених зразків після оброблення електронним променем з різною товщиною верхнього шару (x 500): а – 0,5 мм; б – 1,0 мм; в – 1,5 мм; г – 2,0 мм

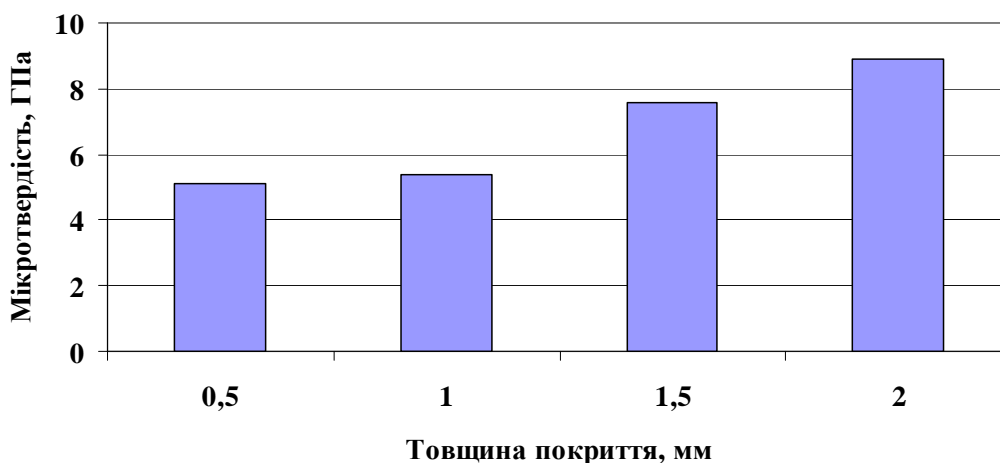


Рис. 2. Залежність мікротвердості двошарових матеріалів від товщини поверхневого шару

Висновки. Встановлено, що застосування градієнтних порошкових матеріалів із залізвуглецевого сплаву при локальному поверхневому термічному обробленні дає змогу отримати структуру поверхні, що відповідає заевтектичному чавуну з твердістю 7,5–9,0 ГПа, при цьому

структура основи матеріалу відповідає заевтектоїдній сталі із твердістю 2,5–3,5 ГПа. Результати досліджень можуть бути використані при створенні економно легованих конструкційних залізвуглецевих сплавів з високою поверхневою твердістю та високою об'ємною міцністю.

Список використаних джерел

1. Неижко, И. Г. Термическая обработка чугуна [Текст] / И. Г. Неижко. – К. : Наук. думка, 1992. – 208 с.

2. Зуев, И. В. Обработка материалов концентрированными потоками энергии [Текст] : учеб. пособие для спец. «Машины и технологии высокоэффективных процессов обработки» / И. В. Зуев. – М. : МЭИ, 1998. – 162 с.
3. Исследование влияния режимов лазерной закалки на изменение свойств сталей [Текст] / Алаа Фадим І. Ідан, О. В. Акимов, Л. Ф. Головкин [и др.] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 2/5 (80). – С. 69–73.
4. Костюк Г. И. Лазерное упрочнение легированных сталей [Текст] / Г. И. Костюк, Н. В. Руденко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – №2 (89). – С. 23–27.
5. Джемелінський, В. В. Визначення оптимальних параметрів лазерно-ультразвукового зміцнення та оздоблювання поверхонь виробів [Текст] / В. В. Джемелінський, Д. А. Лесик // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Машинобудування. – 2013. – №2 (68). – С. 15–18.
6. Maji, K., Pratihari, D. K., & Nath, A. K. (2014). Laser forming of a dome shaped surface: Experimental investigations, statistical analysis and neural network modelling [Text] // Optics and Lasers in Engineering, 53, 31–42.
7. Sachin S. Gautam, Sunil K. Singh and Uday S. Dixit. Laser Forming of Mild Steel Sheets Using Different Surface Coatings Springer India 2015, Lasers Based Manufacturing, Topics in Mining, Metallurgy and Materials Engineering.
8. Мініцький, А. В. Вплив часу поверхневого термічного оброблення на структуру порошкових залізвуглецевих сплавів [Текст] / А. В. Мініцький, М. О. Сисоєв, Н. В. Мініцька // Металознавство та обробка металів. – 2016. – № 1. – С. 3–6.

Охріменко Олександр Анатолійович, д-р техн. наук, доцент, кафедра інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна. Тел.: 067 26 76 943. E-mail: alexhobs77@gmail.com.

Мініцький Анатолій Вячеславович, канд. техн. наук, доцент, кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна. Тел.: 067 75 43 158. E-mail: minitsky@i.ua.

Сисоєв Максим Олександрович, канд. техн. наук, доцент, кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна. Тел.: 067 93 22 621. E-mail: msysoyev@ukr.net.

Мініцька Наталія Валентинівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна. Тел.: 067 77 55 941. E-mail: ulyasha30@bigmir.net.

Охрименко Александр Анатольевич, д-р техн. наук, доцент, кафедра интегрированных технологий машиностроения Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина. Тел.: 067 26 76 943. E-mail: alexhobs77@gmail.com.

Миницкий Анатолий Вячеславович, канд. техн. наук, доцент, кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії Національного технічного університету України «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина. Тел.: 067 75 43 158. E-mail: minitsky@i.ua.

Сысоев Максим Александрович, канд. техн. наук, доцент, кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії Національного технічного університету України «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина. Тел.: 067 93 22 621. E-mail: msysoyev@ukr.net.

Миницкая Наталья Валентиновна, канд. техн. наук, доцент, кафедра интегрированных технологий машиностроения Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина. Тел. 067 77 55 941. E-mail: ulyasha30@bigmir.net.

Okhrimenko Oleksandr, Ph.D., Associate Professor, Department of Integrated Technologies of Mechanical Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine. Tel. 067 26 76 943. E-mail: alexhobs77@gmail.com.

Minitsky Anatoliy, Ph.D., Associate Professor, Department of High-Temperature Materials and Powder Metallurgy, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.

Tel. 067 75 43 158. E-mail: minitsky@i.ua.

Sysoyev Maksim, Ph.D., Associate Professor, Department of High-Temperature Materials and Powder Metallurgy, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.

Tel. 067 93 22 621. E-mail: msysoyev@ukr.net.

Minitska Nanaliya, Ph.D., Associate Professor, Department of Integrated Technologies of Mechanical Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.

Tel. 067 77 55 941. E-mail: ulyasha30@bigmir.net.

Статтю прийнято 23.03.2018 р.