

УДК 621.762

В.А. Маслюк, Г.А. Баглюк, Е.С. Караїмчук, М.І. Підпригора
Інститут проблем матеріалознавства НАН України

ВПЛИВ ДОБАВОК БОРИДУ НІКЕЛЮ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ СПЕЧЕНОГО СПЛАВУ ЗАЛІЗО-ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИЙ ФЕРОХРОМ

Приведені результати дослідження впливу вмісту бориду нікелю у вихідній шихті та температури спікання на особливості структури та механічні властивості спеченої карбідосталі Fe - 65 % - високовуглецевий ферохром ФХ-800 - 35 % (мас.). Показано, що легування базового матеріалу бором призводять до активації процесу ущільнення і зниження на 50-80 °С його температури спікання. Для всіх складів спечених композитів структура матеріалу суттєво гетерогенна та складається з твердих включень з мікротвердістю 14,5-16 ГПа (що відповідає твердості складного залізо-хромового карбіду (Fe,Cr)₇C₃), та металевої матриці з мікротвердістю 5,5-6,5 ГПа (що відповідає мікротвердості хромистого фериту, в якому розчинений вуглець). Максимальні значення густини (7,47 г/см³) і твердості (77,1 HRA) має сплав із вмістом 5 % Ni₃B, тоді як максимальною міцністю на згин (1757 МПа) відзначається карбідосталь, що не містить добавок Ni₃B.

Ключові слова: карбідосталь, ферохром, спікання, структура, бор, твердість, міцність, густина.

В.А. Маслюк, Г.А. Баглюк, Е.С. Караїмчук, М.І. Підпригора

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК БОРИДА НИКЕЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЕЧЕННОГО СПЛАВА ЖЕЛЕЗО-ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫЙ ФЕРРОХРОМ

Приведены результаты исследования влияния содержания бориды никеля в исходной шихте и температуры спекания на особенности структуры и механические свойства спеченной карбидостали Fe - 65 % - высокоуглеродистый феррохром ФХ-800 - 35 % (масс.). Показано, что легирование базового материала бором приводят к активации процесса уплотнения и снижению на 50-80 °С температуры спекания. Для всех составов спеченных композитов структура материала существенно гетерогенная и состоит из твердых включений с микротвердостью 14,5-16 ГПа (что отвечает твердости сложного железо-хромового карбида (Fe,Cr)₇C₃), и металлической матрицы с микротвердостью 5,5-6,5 ГПа (что отвечает микротвердости хромистого феррита, в котором растворён углерод). Максимальные значения плотности (7,47 г/см³) и твердости (77,1 HRA) имеет сплав с содержанием 5 % Ni₃B, тогда как максимальной прочностью на изгиб (1757 МПа) отличается карбидосталь, не содержащая добавок Ni₃B.

Ключевые слова: карбидосталь, феррохром, спекание, структура, бор, твёрдость, прочность, плотность.

V.A. Masliuk, G.A. Bagliuk, E.S. Karaimchuk, M.I. Pidoprigora

THE EFFECT OF NICKEL BORIDE ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF THE SINTERED ALLOY IRON-HIGH-CARBON FERROCHROME

The results of investigations of the effect of nickel boride content in the initial mixture and sintering temperature on the features of structure and mechanical properties of the sintered Fe (65%) - high-carbon ferrochrome FX-800 (35%) (wt.) carbide reinforced steel. It is shown that the doping of the base material with boron lead to activation of compaction process and reduce the sintering temperature to 50-80 °C. For all compositions of the sintered alloy material structure was substantially heterogeneous and consists of solid inclusions with microhardness of 14,5-16 GPa (which corresponds to the hardness of complex iron-chromium carbide (Fe,Cr)₇C₃), and metal matrix with microhardness of 5.5-6 5 GPa (corresponding to microhardness of chromium ferrite with dissolved carbon). The maximum density value (7.47 g / cm³) and hardness (77,1 HRA) is an alloy containing 5% Ni₃B, whereas the maximum bending strength (1757 MPa) differs composite without Ni₃B additives.

Keywords: carbide reinforced steel, ferrochrome, sintering, structure, boron, hardness, strength, density.

Вступ

Одним з перспективних порошкових матеріалів для роботи в умовах тертя, абразивного зношування корозійних середовищ і підвищених температур є порошкові карбідохромові сплави зі зв'язкою на залізній основі, а саме зносостійкі матеріали типу вуглецева сталь – карбід хрому та залізо – високовуглецевий ферохром [1].

Разом з тим підвищення попиту на деталі і покриття з порошкових зносо-корозійностійких матеріалів все частіше викликає необхідність пошуку замітника карбіду хрому, що стає все більш дорогим і дефіцитним. Тому розробники, що спеціалізуються в галузі порошкової металургії все частіше звертаються до хромистих феросплавів, значно дешевших і доступніших джерел хрому. З цієї точки зору зацікавленість спеціалістів визиває високо-вуглецевий ферохром марки ФХ800, що характеризується високою твердістю, жаростійкістю і підвищеною крихкістю, яка дозволяє досить легко механічним подрібненням отримувати з нього порошок [3]. Крім того вартість утворення однакового об'єму карбідів для хрому значно нижча ніж для інших елементів [2].

Порошкові матеріали на основі системи Fe-Cr-C були досліджені авторами шляхом визначення умов їх отримання, структури фізико-механічних та триботехнічних властивостей

[3,4,5] та показано, що в сплавах такого складу твердою складовою є складний залізо-хромовий карбід типу $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$, а металевою – твердий розчин вуглецю в хромистому фериті.

Відомо, що для активації процесу спікання і підвищення фізико-механічних властивостей порошкових зносостійких матеріалів на основі заліза ефективно використовується добавка бору та боровмістних лігатур [6]. Оскільки основу композиційного матеріалу складає залізо, або вуглецева сталь, виникає доцільність дослідження впливу добавок бору на структуру та властивості матеріалу залізо - високовуглецевий ферохром ФХ-800.

Метою цієї роботи було дослідження впливу добавок бору в кількості 0,2- 0,4 мас на температуру спікання і формування структури та фізико-механічних властивостей порошкової карбідосталі Fe - 65 % - високовуглецевий ферохром ФХ-800 - 35 % (мас.).

Матеріали та методика експерименту

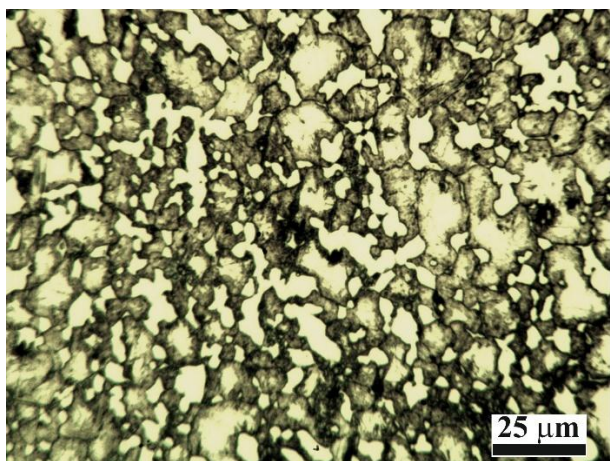
Для проведення досліджень кусковий високовуглецевий ферохром ФХ800 піддавали дворазовому гартуванню у воду з температури 1050 °С і наступному механічному подрібненню спочатку в молотковій дробарці, а потім - в кульовому млині. Фракційний склад порошку після подрібнення, визначений методом ситового аналізу згідно ISO 4497–83, показав, що 70 % частинок мають розміри менше 60 мкм.

Бор в карбідосталь вводили у вигляді бориду нікелю Ni_3B . Вибір бориду нікелю в якості легуючої добавки пояснюється тим, що окрім бору, нікель чинить позитивний вплив на сплави на залізній основі, розширюючи аустенітну область, знижує температуру початку і кінця мартенситного перетворення підвищує окалиностійкість і опір корозії.

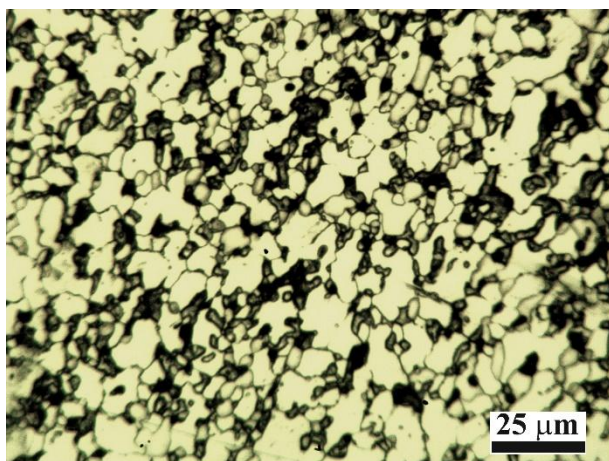
Порошкові суміші готувати в кульовому млині у середовищі спирту за режимом наведеним у [4]. Зразки пресували в закритій прес-формі при тиску 800 МПа. Спікання проводили у вакуумній електропечі при температурах 1150-1300 °С протягом 45 хвилин. Твердість і міцність на згин визначала за стандартними методиками, які використовуються для тестування спечених порошкових матеріалів і твердих сплавів, на випробувальній машині Ceramtest system при кімнатній температурі. Структуру матеріалу досліджували на оптичному мікроскопі XJL-17 та скануючому електронному мікроскопі JEOL Superprobe 733.

Результати експерименту та їх обговорення

Аналіз мікроструктури сплавів Fe–ФХ-800 (рис. 1) показав, що для всіх складів композитів вона суттєво гетерогенна і відноситься до матрично-наповненого типу з мікротвердістю твердих включень 14,5-16 ГПа, що відповідає твердості складного залізо-хромового карбиду $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$, а мікротвердість металевої матриці – 5,5-6,5 ГПа, що близько до мікротвердості хромистого фериту, в якому розчинений вуглець.



а



б

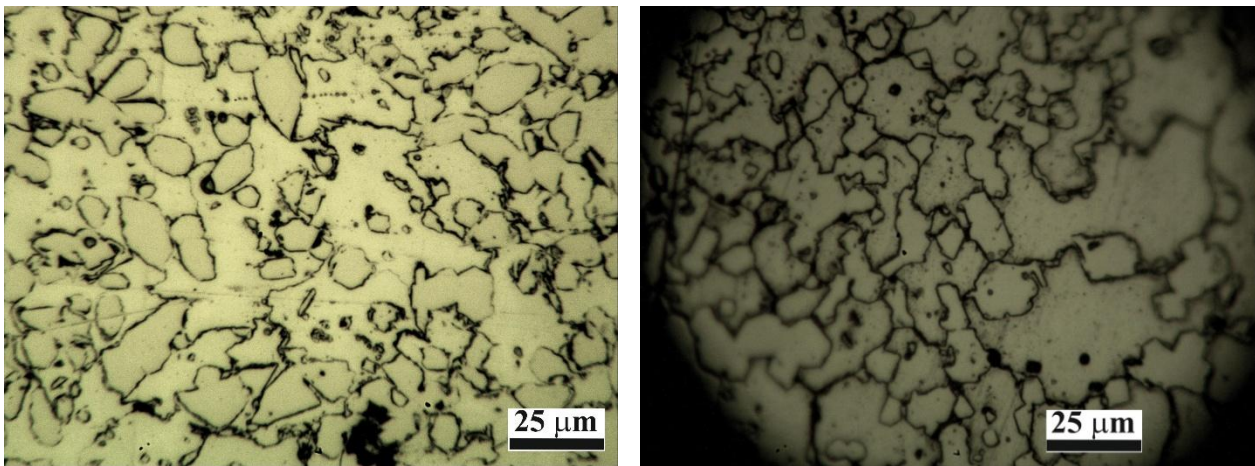


Рис. 1. Мікроструктура сплавів 65 % Fe – 35 % ΦX800 (а), Fe – 35 % ΦX800 – 3,0 % Ni₃B (б), Fe – 35 % ΦX800 – 5,0 % Ni₃B (в), Fe – 35 % ΦX800 – 7 % Ni₃B (г)

Мікрорентгеноспектральний аналіз карбідосталі з 3% Ni₃B показав, що вона має 3-х фазну структуру і складається із матричної фази на основі заліза легованого 6,5-6,6 % (мас.) Cr, вуглецевого ферохрому з 35-36 % Cr і фази на основі хрому, яка містить від 13 до 26 % Fe (рис. 2).

Дослідження впливу температури спікання на густину, твердість і межу міцності на згин та пористість показало (рис.3), що із збільшенням температури спікання від 1150 до 1300 °C вказані властивості змінюються за різними закономірностями – близькими до лінійного (сплави без добавок Ni₃B) або за кривими з пологими максимумами (сплави з добавками Ni₃B). Такий хід залежностей є типовим для порошкових матеріалів, спікання яких відбувається спочатку в твердій, а потім за участю рідкої фази.

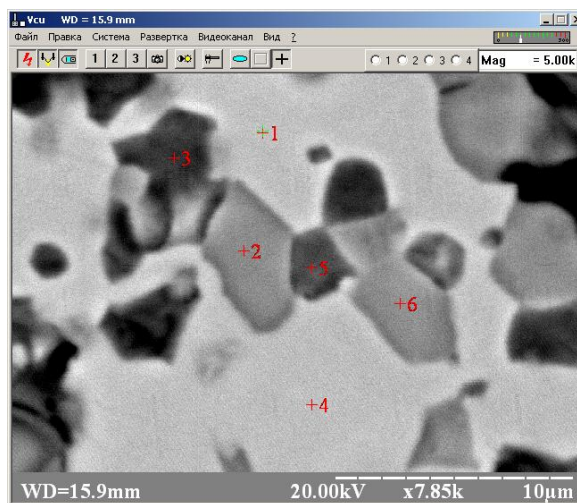
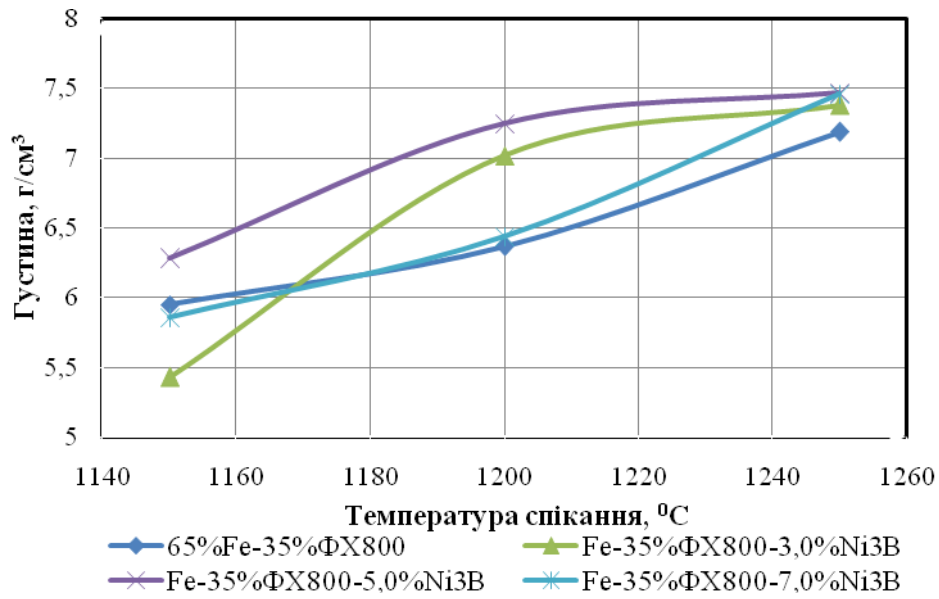
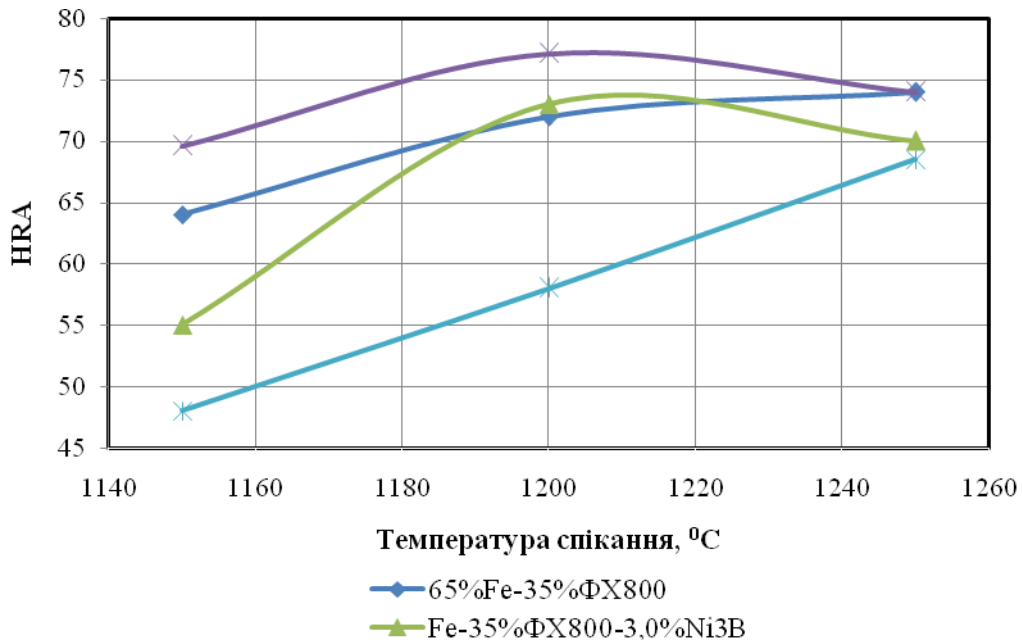


Рис. 2. Мікроструктура карбідосталі Fe – 35 % ΦX800 – 3,0 % Ni₃B в режимі «СОМРО»



а



б

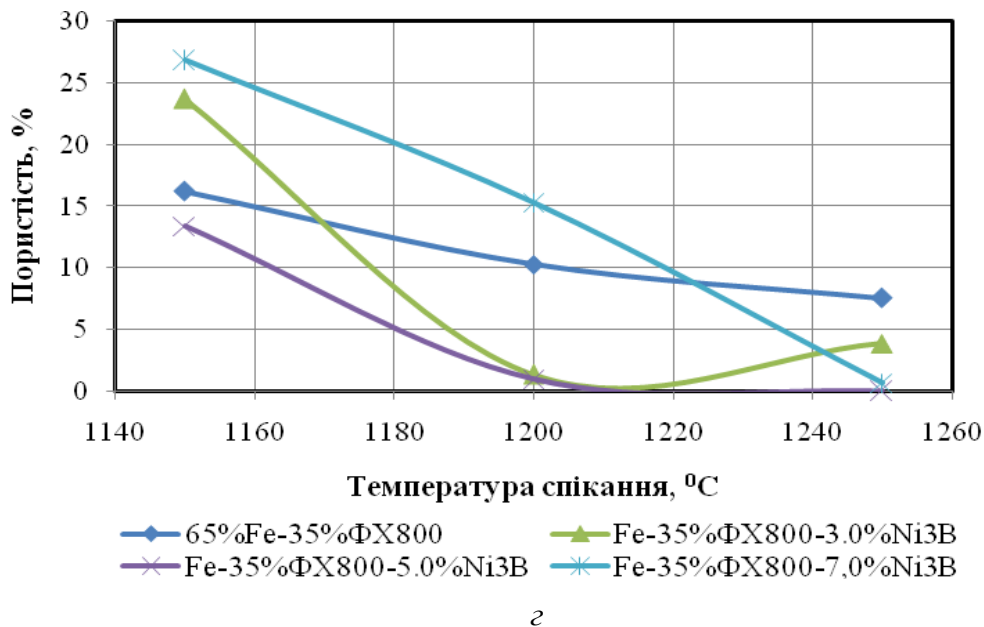
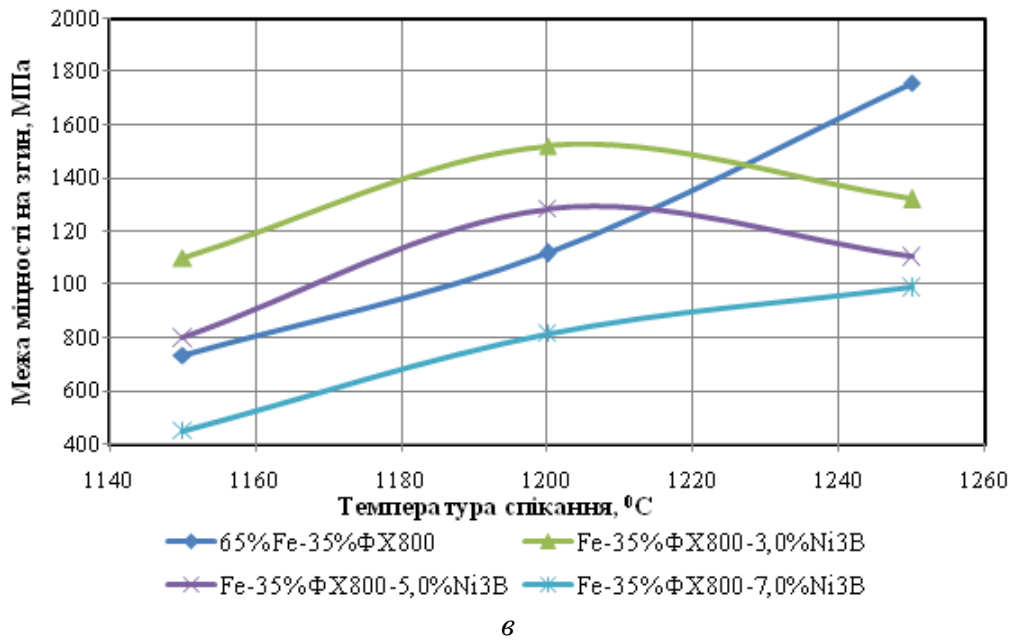


Рис. 3. Залежність густини (а), твердості (б), межі міцності на згин (в) та пористості (г) від температури спікання

Опуклість кривих для сплавів з добавками Ni_3B свідчить про те, що перехід від твердофазного до рідкофазного спікання у них проявляється більш чітко, що є наслідком активації процесу ущільнення за рахунок збільшення кількості рідкої фази в результаті плавлення евтектики в системі Fe-Cr-B-C (~ 1180 °C).

Аналогічним чином з підвищенням температури спікання зростають також твердість (рис. 3,б) і межа міцності на згин (рис. 3,в). При цьому максимальні густина ($7,47$ г/см³) і твердість (77,1HRA) має сплав із вмістом 5 % Ni_3B , що в перерахунку на повний склад карбідосталі складає 0,3 % В, характерно, що саме при такому вмісті бору забезпечується і поміжне зниження (на ~ 50 °C) температури спікання сплаву. Разом з тим, як видно з рис.3,в максимальною міцністю на згин (1757 МПа) відзначається карбідосталь, що не містить добавок Ni_3B . Очевидно, це пов'язано з утворенням в сплавах що містять добавки бориду нікелю, складних боридів і карбоборидів заліза-хрому, типу Fe_2B , FeB , $Fe_2(B,C)$ [7].

Висновки

Легування базового матеріалу Fe- 35 % ФХ800 з добавками бору (0,2-0,4 % мас) приводять до активації процесу ущільнення і зниження на 50-80°C його температури спікання. В той же час введення легуючої добавки у вигляді Ni₃B при збереженні практично однакової твердості (74-77HRA) і густини (7,2-7,4 г/см³) приводить до падіння межі міцності на згин карбідосталі на 13-15%.

Оптимальний вміст бору, що забезпечує найкраще поєднання густини, мінімальну пористість, твердість і межу міцності на згин хромистої карбідосталі складає (0,2-0,3% мас). Розроблені матеріали завдяки достатній твердості і міцності на згин рекомендуються для виготовлення і зміцнення деталей машин і механізмів працюючих в умовах абразивного зношування і корозійноактивних середовищ.

Література

1. Маслюк В.А. Безвольфрамовые твердые сплавы и содержащие карбиды хрома карбидостали // Порошковая металлургия. – 2014. - №3/4. – С.47-57.
2. Дорофеев Ю.Г. Динамическое горячее прессование пористых порошковых заготовок. Ю.Г. Дорофеев. – М. : Металлургия, 1977. – 216 с.
3. Клименко В.Н. Спекание, структурообразование и свойства порошковых материалов системы карбид хрома – железо / В.Н. Клименко, В.А. Маслюк, Ю.В. Самброс // Порошковая Металлургия. – 1986. - № 8. – С. 39-44.
4. Маслюк В.А. Структура та властивості порошкових матеріалів композиції залізо – високо вуглецевий ферохром / В.А. Маслюк, А.А. Бондар, В.В. Курась та ін. // Порошковая Металлургия. – 2013. - № 5/6. – С. 66-74.
5. Маслюк В.А. Порошковые твердые сплавы хромистые карбидостали на основе системы Cr – Fe–C / В.А. Маслюк, Р. В. Яковенко, О. А. Потогиевская та др. // Порошковая металлургия. – 2013. - № 1/2. – С. 60-74.
6. Туров Ю. В. Структурообразование при спекании порошковых композиций железо – карбид бора / Ю.В. Туров, Б.М. Хусид, А.Г. Ворошнин и др. // Порошковая металлургия. – 1991. - № 6. – С. 25-31.
7. Баглюк Г.А. Получение боросодержащих порошковых сталей с использованием лигатур и карбида бора / Г. А. Баглюк, С. Г. Напара-Волгина, А.Н. Орлова и др. // Порошковая металлургия. – 2010. - № 11/12. – С. 47-54.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2016.