

УДК 621.746:669.2.8

**Л. М. Самчук***Луцький національний технічний університет***АНАЛІЗ МЕТАЛОГРАФІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ ТІ-С-ШХ15  
ОТРИМАНОЇ МЕТОДОМ СВС**

*В даній роботі представлено металографічне дослідження структури матеріалу ТІ-С-ШХ15 отриманої методом само поширюваного високотемпературного синтезу. Проведені дослідження показали наявність утворених інтерметалідів, які і забезпечать даному матеріалові високу міцність і твердість. Висновки та отримані результати спонукають до подальшого наукового та практичного дослідження.*

*Ключові слова: система ТІ-С-ШХ15, властивості, конструкційний матеріал, СВС-процес, застосування.*

*Форм. 1. Рис. 5. Літ. 11*

**Л. М. Самчук****АНАЛИЗ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТИ-С-ШХ15 ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ СВС**

*В данной работе представлены металлографические исследования структуры материала ТИ-С-ШХ15 полученной методом же распространяемого высокотемпературного синтеза. Проведенные исследования показали наличие образованных интерметаллидов, которые и обеспечивают данному материалу высокую прочность и твердость. Выводы и полученные результаты побуждают к дальнейшему научного и практического исследования.*

*Ключевые слова: система ТИ-С-ШХ15, свойства, конструкционный материал, СВС-процесс, применение.*

**L. M. Samchuk****ANALYSIS SYSTEM FOR RESEARCH METALLOGRAFICHESKOHO TI-C-BBS15  
POLUCHENNOY BY SHS**

*In this work the metallographic investigation of the structure of the material TI-C-BBS15 obtained by similarly distributed high-temperature synthesis. Studies have shown the presence of intermetallic compounds formed, and that this material will provide high strength and hardness. Conclusions and findings encourage further research and practical research.*

*Keywords: TI-C-BBS15, properties, construction material, SHS-process applications.*

**Постановка проблеми.** В світлі обмежених енергетичних ресурсів України проблема енергозаощадження є особливо актуальна. Пошуки розв'язання проблеми здійснюються по декількох напрямках. В першу чергу, це дослідження та впровадження у виробництво нових, прогресивних енергозберігаючих технологій порошкової металургії, саморосповсюджувального високотемпературного синтезу (СВС-процесу), іонно-плазменного, лазерного напилення плівок, використання у якості сировини наноматеріалів та ін. [1]. Другим важливим резервом підвищення ефективності виробництва є використання відходів життєдіяльності людства, в тому числі і відходів машинобудівного комплексу[2].

Важливого значення вирішення цієї проблеми набуває і підвищення якості і надійності деталей і конструкцій за рахунок підвищення властивостей конструкційних матеріалів [3]. Одним із ефективних шляхів зменшення собівартості виготовлення деталей є використання відходів промислового виробництва. Особливу увагу приділяють відходам сталі ШХ15, що утворюються в процесі шліфування кілець шарикопідшипників. В Луцькому національному технічному університеті розроблено ряд технологічний процес отримання металевого порошку із шліфувальних шламів шарикопідшипникової сталі ШХ15[4].

**Мета статті:** провести аналіз металографічного дослідження для системи Ті-С-ШХ15 отриманої методом СВС.

**Виклад основного матеріалу.** Необхідність у матеріалі, що має високі експлуатаційні характеристики в екстремальних умовах з розвитком техніки і технологій постійно зростає. В залежності до поставлених вимог такі матеріали повинні бути зносостійкими, жароміцними, хімічно-інертними при контакті з агресивними рідинами і газами при високих температурах. Таким вимогам відповідають тугоплавкі з'єднання: карбіди, нітриди, бориди, силіциди, оксиди, а також тверді сплави і композиційні матеріали на їх основі. Отримання тугоплавких сполук і виробів з них пов'язане зі значними матеріальними витратами.

Винахід методу СВС (самопоширюваного високотемпературного синтезу) привело до розвитку нового напрямку як в науці про горіння, так і в технології отримання високоякісних матеріалів. На першій стадії розвитку цього процесу продукти реакції практично завжди були

достатньо слабоспеченими брикетами. В основному, для реалізації процесу використовувалися тугоплавкі металопоподібні карбіди, бориди і нітриди [5].

Розширення діапазону технологічних можливостей СВС дозволило синтезувати порошки з незвичайними, а інколи просто унікальними високими параметрами. Сьогодні такий підхід (створення методом СВС порошоків та виробів, що перевищують традиційні за технологічними характеристиками, або властивостям одержаних на їх основі матеріалів) фактично є домінуючим.

Метод СВС здійснюється за допомогою сильної екзотермічної взаємодії більшої кількості елементів періодичної системи з бором, вуглецем, азотом, кремнієм, що пов'язано з виділенням теплоти при утворенні продукту, і високих значень енергії активізації. В зв'язку з цими особливостями реалізується можливість протікання реакції взаємодії у вузькій зоні, що проходить по нагрітій суміші реагентів [6]. Вважається, що спікання сумішей починається з того, що в міжчастинкових контактах протікають дифузійні процеси [7]. Авторами [8] була запропонована схема процесу спікання пресовок із порошоків титану і заліза, суть якої полягає в тому, що рідка фаза евтектичного складу, яка виникає на границі частинок металу внаслідок контактного плавлення, добре розтікається по поверхні титану. На границях між частинками заліза і титану внаслідок інтенсивної контактної взаємодії, що веде до утворення інтерметалідів, процес розтікання рідкої фази гальмується і швидко припиняється. Рідина остаточно закристалізовується в інтерметалідну фазу [9].

При виконанні роботи були використанні матеріали: порошок титану марки ПТС-1 (ГОСТ 9722-79), вуглець С (сажа – ТУ 14-7-24-80) та порошок сталі ШХ 15. Хімічний склад порошку сталі ШХ15, який ми одержали із шламових відходів при виготовленні підшипників на ПАТ СКФ-України вивчали за допомогою спектрографа моделі ИСП-30. Для порівняння властивостей матеріалів, отриманих за різною технологією, проводилася серія паралельних дослідів. Зразки спікалися методом пічного спікання та в режимі СВС. Спікання пічним методом проводили в печі моделі СГО55-754 при температурі 1500 К під рідким затвором протягом двох годин. Перед спіканням робочу зону печі продували аргоном [10]. Методом СВС спікали в лабораторному реакторі, який був виготовлений в Луцькому національному технічному університеті. Синтез здійснюється в інтервалі температур від 557 – 1677 К. Зразки для металографічних досліджень готувалися за стандартною методикою. Шліфи зразків досліджували за допомогою мікроскопу моделі ММР-4 при збільшенні  $\times 600$ .

З метою отримання чіткого зображення границь зерен шліфи протравлювали 4%  $H_2SO_4$ . Площинну пористість визначали по мікрофотографіях шліфів за допомогою програми RНОТОМ та програми Smart-eye. Встановлено, що пористість рівна 30%. Об'ємну пористість визначали ваговим методом за геометричними параметрами зразків. На рис. 1. наведена структура зразків спечених методом СВС. Програмний продукт Smart-eye дозволяє проводити морфологічний аналіз рельєфу поверхні зразків. На рис. 2. наведено характер поверхні зразків після пічного спікання (до і після травлення). На рис. 3. представлена структура отриманих пічним методом ( $\times 600$  (до і після травлення)). На рис.4. показано рельєф поверхні зразків після пічного спікання (до і після спікання). Очевидно, що травлення зменшує висоту мікронерівностей поверхні. Із знімка видно: темні області – мартенсит; світлі області – інтерметаліди заліза:  $Fe_2Ti$ ,  $FeTi$ ; сірі області – карбід титану ( $TiC$ ).

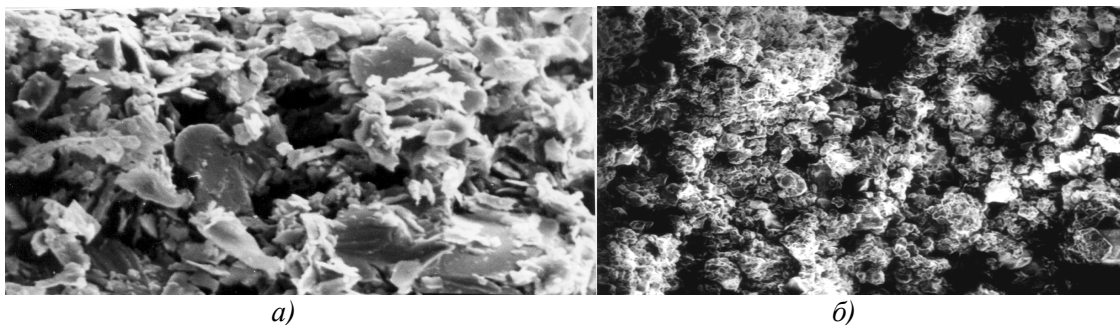
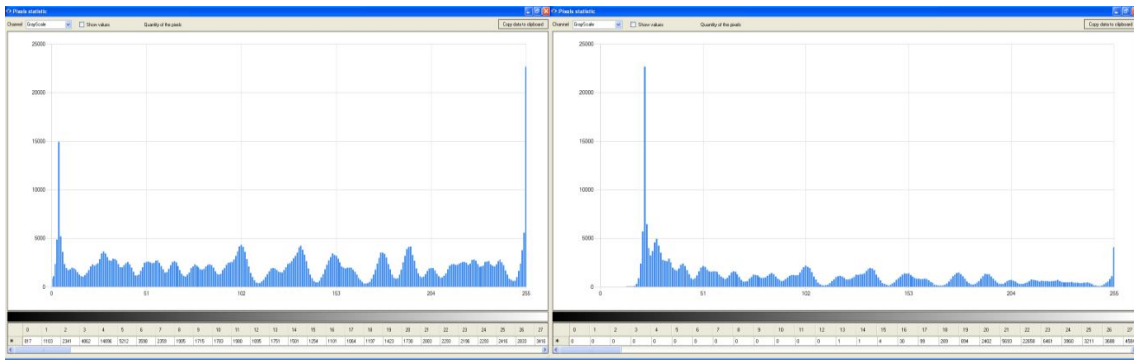


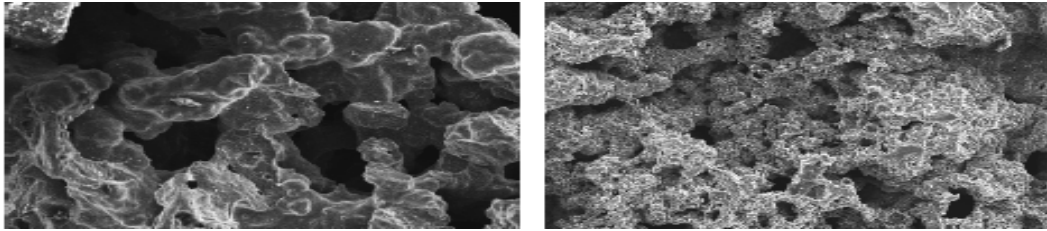
Рис. 1. Структура зразків спечених СВС при збільшенні  $\times 600$  (а – до і б – після травлення)



a)

б)

Рис. 2. Рельєф поверхні спечених методом СВС (а – до і б – після травлення)  $\times 600$



a)

б)

Рис. 3. Структура зразків спечених пічним методом при збільшенні  $\times 600$   
(а – до і б – після травлення)

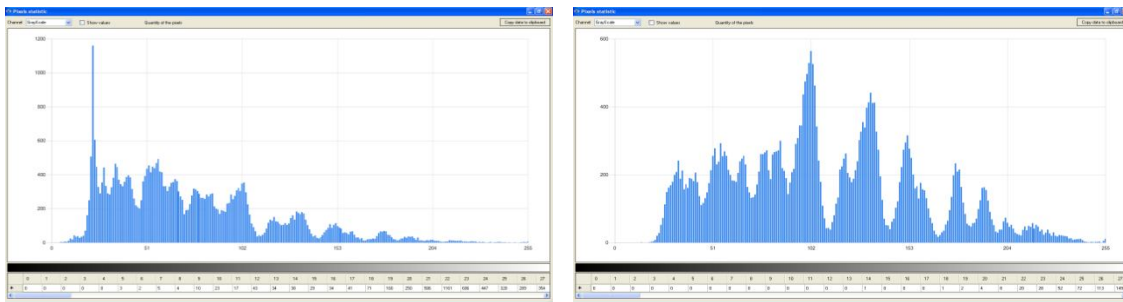
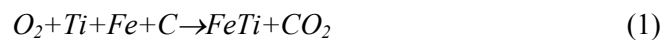


Рис. 4. Рельєф поверхні спечених пічним методом при збільшенні  $\times 600$   
(а – до і б – після травлення)

Методи СВС дозволяють отримувати інтерметаліди з великою теплою утворення. Особлива увага приділяється структурі твердого розчину інтерметаліду, що виникає в результаті досить швидкого протікання процесу [140].



В сплавах  $Fe-Ti$  є два інтерметалідних з'єднання. Фаза  $Fe_2Ti$  (фаза Лавеса типу  $MgZn_2$ ,  $a = 0,4774 \text{ нм}$ ,  $c = 0,7794 \text{ нм}$  при 27.4% (ат.)  $Ti$  і  $a = 0,785 \text{ нм}$  при 37% (ат.)  $Ti$ ) плавиться конгурентно при  $1427^\circ C$ . Область її гомогенності знаходиться в межах 27–33% (ат.)  $Ti$ . Фаза  $FeTi$  (типу  $CsCl$ ,  $a = 0,2976 \text{ нм}$  при 49.5% (ат.)  $Ti$ ) утворюється за перитектичною реакцією при  $1317^\circ C$  (склад евтектики 15% (ат.)  $Ti$ ). Залізо знижує температуру поліморфного перетворення титану до температури евтектоїдної рівноваги. Максимальна розчинність заліза в  $\beta-Ti$  становить 22% (ат.) при  $1085^\circ C$ , титану в  $\alpha-Fe$  – 9,8% (ат.) при  $1289^\circ C$ , титану в  $\gamma-Fe$  – 1% (ат.) при  $1100^\circ C$ . На рис. 5. наведена діаграма стану системи  $Fe-Ti$ .

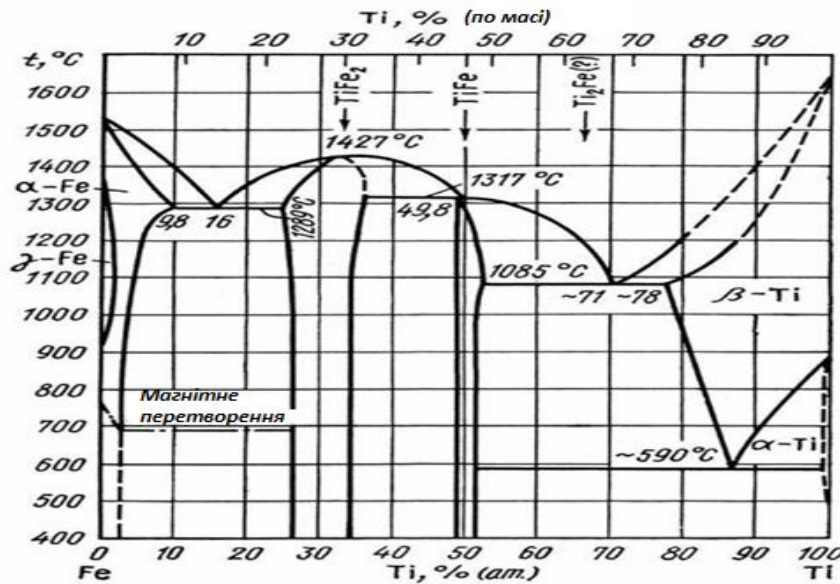


Рис. 5. Діаграма стану системи Fe–Ti [144]

Авторами [11] досліджено зміни фазового складу пресовок з порошків суміші  $Fe\text{--}TiFe$ . Показано, що структура спеченого матеріалу по мірі збільшення вмісту інтерметалідної фази послідовно трансформується з матричної в каркасну, в тому числі в евтектичну, а потім в однофазну інтерметалідну, збагачену залізом.

**Висновок.** Метод СВС дозволяє синтезувати порошки з незвичайними, а інколи просто унікальними високими параметрами. Як показали металографічні дослідження, що при спіканні методом СВС забезпечується однорідність структури.

1. Мержанов А. Г., Шаривкер С. Ю. СВС-порошки и их технологическая переработка/ И. П. Боровинская (ред.); РАН. Институт структурная макрокинетика и проблем материаловедения. – Черноголовка: Издательство ИСМАН, 2000. – 117 с.
2. Мержанов А. Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез в химии и технологии тугоплавких соединений / А. Г. Мержанов, И. П. Боровинская // ВХО, 1999. – Т. XXIV. №3. – С. 223-227.
3. Бобович Б. Б., Девяткин В. В. Переработка отходов производства и потребления: Справочное издание / Под ред. док. техн. наук, проф. Б. Б. Бобовича. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 496 с.
4. Дорофеев Ю. Г., Мариненко Л. Г., Устиненко В. И. Конструкционные порошковые материалы и изделия. – М.: Металлургия, 1986. – 144 с.
5. Патент України № 63558 А МПК 7 В22F9/04. Спосіб отримання металевого порошку з шламових відходів підшипникового виробництва / В. Д. Рудь, Т. Н. Гальчук, О. Ю. Повстяной; Заявл.06.05.03; опубл. 15.01.04. Бюл. №1, 2004.
6. V. Kiebak, W. Shatt, G. Jangg. Titanium-alloyed sintered steels // Powder Met. Int., 16(5), pp. 207-212 (1984). R. German, W. Baek, J. Dillar. Microstructure and property development in transient liquid phase sintered iron-titanium alloys // Progress in Powder Metallurgy, 41, p. 765–790 (1985).
7. Жигуц Ю. Ю. Структура і властивості синтезованих твердих сплавів / Ю. Ю. Жигуц // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – Львів. – 2003. – №1. – С. 109-110.
8. Зарубицкая Л. И. Структура и некоторые свойства электролитических порошков интерметаллидов титана с железом / Л. И. Зарубицкая // Порошковая металлургия, (3). – 1991. – С. 1-3.
9. Петрик І. Я. Дослідження формування структури сплаву системи Fe -Ti в процесі дифузійного насичення та спікання з порошкових матеріалів і вплив її на триботехнічні властивості / І. Я. Петрик // Фізика і хімія твердого тіла. – 2008. – Т.9, №3. – С. 567–573.
10. Петрик І. Я. Вплив режиму спікання зразків на структуру і фазовий склад системи Fe-Ti / І. Я. Петрик // Фізика і хімія твердого тіла. – 2007. – Т. 8, № 3. – С. 628–630.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2014.