

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ СИНТЕЗУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ СПЕЧЕНОГО КОМПОЗИТУ СИСТЕМИ Ti-Fe-C

Rud V., Samchuk L.  
The Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

### INFLUENCE OF TECHNOLOGY OF SYNTHESIS ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE SINTERED COMPOSIT OF SYSTEM Ti-Fe-C

*Досліджено фізико-механічні характеристики матеріалу отриманого методом пічного спікання та методом СВС. Порівняльний аналіз фізико-механічних властивостей матеріалу з однаковим хімічним складом отриманий методом пічного спікання та методом СВС-процесу свідчить, що пористість зразків не залежить від методу спікання. Показано, що на деформаційні характеристики та твердість матеріалу метод спікання не впливає. Встановлено, що для зразків з однаковим хімічним складом та пористістю механічні параметри при СВС спіканні зростають у 1,5 рази порівняно з пічним спіканням за рахунок зміцнення зв'язків між елементами системи. Для зразків отриманих методом СВС при дослідженні структури руйнування спостерігається крихке руйнування, при пічному методі внаслідок статичного стиснення у зразку з'являються глибокі тріщини, що приводять до його руйнування. Таким чином, доведено, що для отримання матеріалів конструкційного призначення доцільно використовувати відходи машинобудівного виробництва зменшивши енерговитрати за рахунок СВС-процесів.*

*Ключові слова:* спікання, пористість, СВС, структура.

**Постановка проблеми.** Охорона навколишнього середовища, впровадження ресурсо- та енергозберігаючих технологій визначальний, магістральний шлях розвитку сучасного суспільства. 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 напilenня плівок, використання у якості сировини наноматеріалів та ін. [1, 2].

Другим важливим резервом підвищення ефективності виробництва є використання відходів життєдіяльності людства, в тому числі і відходів машинобудівного комплексу [3].

Важливого значення вирішення цієї проблеми набуває і підвищення якості і надійності деталей і конструкцій за рахунок підвищення властивостей конструкційних матеріалів [4].

В Луцькому національному технічному університеті проводяться науково-дослідні роботи по вдосконаленню технологій утилізації відходів підшипникового виробництва та отриманню деталей конструкційного та триботехнічного призначення з використанням металевих порошоків сталі ШХ15 [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При отриманні матеріалів методом порошкової металургії процес спікання можливо реалізувати пічним способом і СВС-процесом. Авторами [6, 7] було розглянуто властивості матеріалу на основі *Ti-Fe*, що отримані традиційним пічним методом спікання, який є енергозатратним. Суть процесу 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, процес розтікання рідкої фази гальмується і швидко припиняється. Внаслідок цього утворюється інтерметалідна фаза.

**Метою даної роботи** є порівняння традиційного пічного методу спікання та СВС-процесу та їх вплив на фізико-механічні властивості композиційного матеріалу, отриманого на основі шихти із порошоків титану, сталі ШХ15 та вуглецю.

**Основний зміст досліджень.** Систему титан-вуглець-ШХ15 при дослідженні процесу спікання враховуючи, що основний зміст в хімічному складі сталі ШХ15 належить залізу (*Fe-98%*) розглядали у вигляді системи титан-вуглець-залізо. При приготуванні шихти для реалізації спікання у якості вихідних компонентів використовувався порошок титану марки ПТС-1 (ГОСТ 9722-79), вуглець С (сажа – ТУ 14-7-24-80) та порошок сталі ШХ 15, отриманий із шліфувального шламу по технології ЛНТУ [4]. Розрахунок компонентів вихідної

суміші (шихти) для синтезу системи титан-вуглець-ШХ15, проводився із врахуванням кількості і стехіометричних коефіцієнтів вихідних компонентів, чистоти і насипної густини вихідної шихти за методикою [8] по формулі (1):



Дані, необхідні для розрахунку шихти, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

## Компоненти вихідної суміші і їх властивості

Компонент	Атомна (молекулярна) маса, $M_1$	Густина речовини, $\rho$ , $\text{кг/м}^3$ ( $\text{г/см}^3$ )	Чистота реактиву, мас. %
Ti	47,88 а. о. м. ( $\text{г/моль}$ )	4,54 $\text{г/см}^3$	99,50
C	12,011 а. о. м. ( $\text{г/моль}$ )	2,25 (графіт) $\text{г/см}^3$	98,70
ШХ15	55,847 а. о. м. ( $\text{г/моль}$ )	7,64-7,81 $\text{г/см}^3$	99,50

Порошок сталі ШХ15 береться в такій кількості, яка дозволяє повністю зв'язати титан і вуглець в хімічно нейтральних з'єднаннях. В дослідях використовували зразки діаметром  $\varnothing 3$  см і висотою  $h=6$  см. Маса компонентів, які наведені в таблиці 2, визначені з урахуванням об'єму зразка та густини порошкової суміші.

Таблиця 2

Маса компонентів вихідної суміші циліндричного зразка  $\varnothing 3$  см,  $h=6$  см

Компонент	Кількість компонентів у вихідній суміші, %	Теоретична маса компонентів у вихідній суміші, г	Маса компонента з врахуванням чистоти реактиву, г
Ti	41,33	35,21	35,3
C	10,38	8,84	8,9
ШХ15	48,28	41,13	42,3
$\Sigma$	99,99	85,18	86,5

Для зразків, що отримувалися методом пічного спікання, були використані суміші з аналогічним процентним і ваговим вмістом вихідних компонентів. Змішування порошоків вихідних реагентів проводиться в кульовому млині, який представляє собою горизонтально розміщений обертаючий циліндр з набором сталених кульок діаметром 20 мм в середині. Змішування триває протягом восьми годин до утворення однорідної маси. Пресування вихідної шихти відбувається за допомогою гідравлічного пресу моделі ПСУ 500 (максимальний тиск 500 МПа). Прес-форми виготовлені із сталі 20ХН9Т. Отримані зразки за першим варіантом спікали в печі моделі СГО55-754 при температурі 1750 К під рідким затвором на протязі двох годин. В якості речовини, що запобігає утворенню окисного середовища, використовували аргон. За другим варіантом - методом СВС в лабораторному реакторі, який був виготовлений в Луцькому національному технічному університеті. Синтез здійснюється в інтервалі температур від 557–1677 К.

Після спікання зразків проводився порівняльний аналіз за наступними параметрами: досліджувалася структура зразків, визначалася твердість та їх міцність при стисненні.

Металографічні дослідження проводились на мікроскопі ММР-4. Зразки для металографічних досліджень готовилися за стандартною методикою [9]. З метою отримання чіткого зображення границь зерен шліфи протравлювали 4%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . За допомогою програми PHOTOM визначена площинна пористість зразка, яка рівна 30%, розміри та форма утворених порів. На рис.1. наведена структура зразків спечених методом СВС, а на рис.2. методом порошкової металургії (до і після травлення).

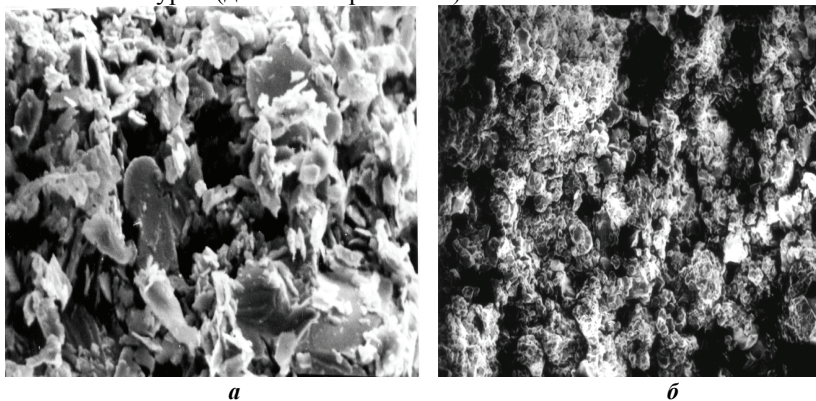


Рис. 1. Структура зразків спечених методом СВС (а - до і б- після травлення)х 600

Мікроструктура зразків, спечених методом СВС показує, що вони краще спечені завдяки багаторазовій перебудові кристалічної решітки [10]. До інтенсифікації процесу синтезу призводять поліморфні перетворення, внаслідок чого обидва компоненти як і залізо, так і титан зазнають багаторазових фазових перетворень, внаслідок чого відбувається перебудова кристалічної решітки титану і заліза. Отже, природні поліморфні перетворення, за рахунок перебудови кристалічної решітки, забезпечують активність СВС, а також утворення інтерметалідів та виступають у ролі інтенсифікатора дифузійних процесів. Із знімка видно: темні області - мартенсит, світлі області - інтерметалід заліза.

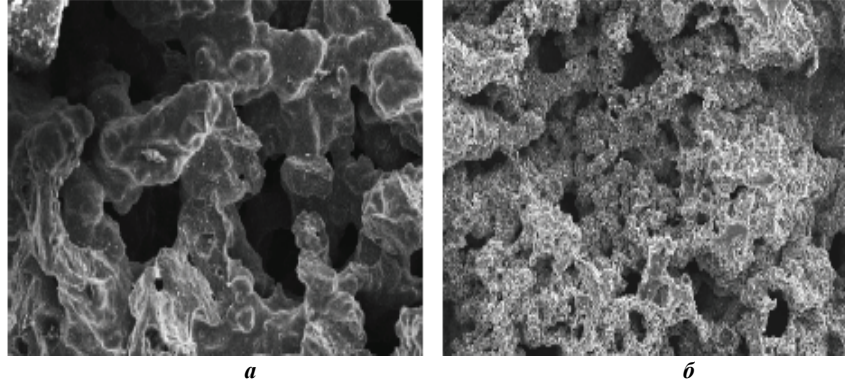


Рис. 2. Структура зразків спечених під рідким затвором ( а- до і б- після травлення)х 600

Твердість отриманих зразків визначали за допомогою динамічного твердоміра ТД-42М за трьома параметрами: HRC – твердість по Роквеллу, HB – твердість по Брінелю, HV – твердість по Вікерсу. Паспортна межа допустимого відхилення приладу дорівнює  $\pm 3 \dots 5\%$ . В таблиці 3 наведені результати визначення твердості для зразків, які отримані методом пічного спікання, а в таблиці 4 – методом СВС.

Таблиця 3

Твердість для зразків після пічного спікання

№	HRC	HB	HV
0,9R	18	100	99
0,5 R	38	180	173
В центрі зразка	63	381	421

Таблиця 4

Твердість зразків після СВС - процесу

№	HRC	HB	HV
0,9R	20	101	101
0,5 R	43.2	187	187
В центрі зразка	63.9	385	446

У таблицях 3, 4 під №1 визначення твердості на відстані 0,9R, під №2 - 0,5 R (R-радіус зразка), під №3 – в центрі зразка. У якості механічних характеристик зразків визначалася межа міцності та гранична деформація при статичному навантаженні. Для випробувань використовувалася розривна машина МІ-40КУ з автоматичним записом діаграми деформування. В якості прикладу на рис.3. наведена діаграма деформування при стисненні зразка спеченого методом СВС.

У результаті випробувань встановлено, що максимальне напруження в момент руйнування

$\sigma_{max} = 70$  МПа при відносній деформації  $e_{max} = 0,0375$  для зразків після пічного спікання. Для зразків

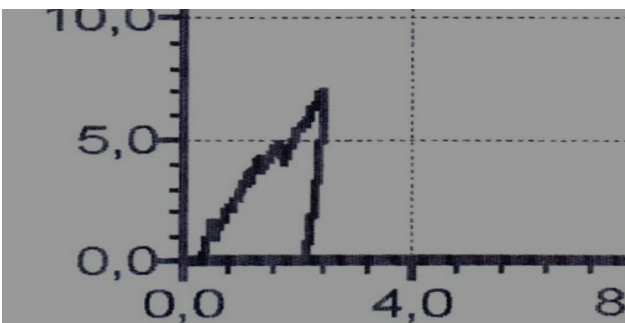


Рис. 3. Діаграма деформування при стисненні зразка спеченого методом СВС

отриманих методом СВС-процесу  $\sigma_{max} = 106$  МПа при  $e_{max} = 0,038$ . Деформаційні характеристики не залежать від методу спікання.

Дослідження показують, що міцніші характеристики матеріалу отриманого методом СВС у 1,5 рази вище ніж для зразків отриманих пічним методом. Дослідження структури руйнування проведені за допомогою мікроскопа типу МС-29, показують, що для СВС зразків спостерігається крихке руйнування (з'являються поверхневі тріщини з вільного кінця зразка). На рис.4. показані знімки для

руйнування зразка, який спечений методом СВС, а на рис.5. – для зразка, який спечений пічним. Для зразків, спечених пічним методом при статичному стисненні у зразку з'являються глибокі тріщини, що приводять до його руйнування.

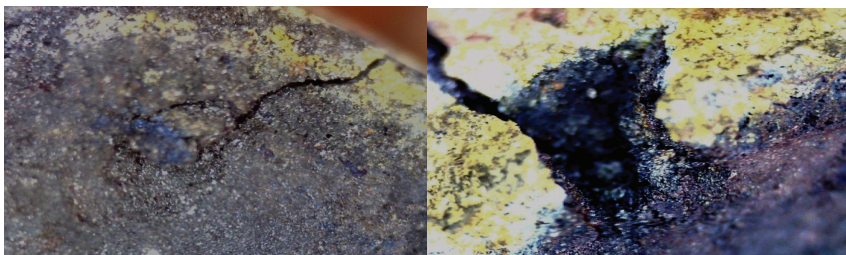


Рис. 4. Знімки характеру руйнування зразків отриманих методом СВС

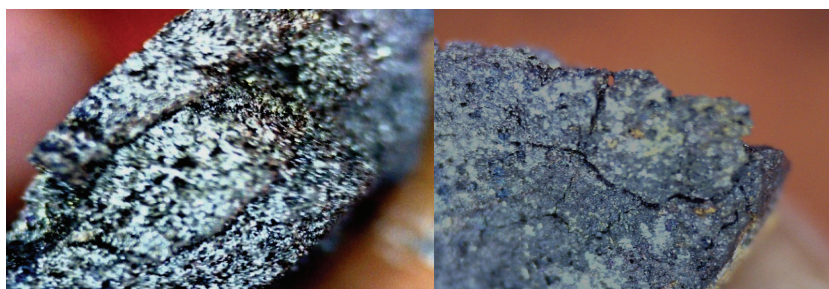


Рис. 5. Знімки характеру руйнування зразків спечених пічним методом

Отже, для зразків з однаковим хімічним складом, пористістю та практично рівною твердістю механічні характеристики відрізняються у 1,5 рази за рахунок зміцнення зв'язків між елементами при СВС спіканні.

**Висновки.** Порівняльний аналіз фізико-механічних властивостей матеріалу з однаковим хімічним складом отриманий методом пічного спікання та методом СВС-процесу свідчить:

1. пористість зразків не залежить від методу спікання;
2. на деформаційні характеристики та твердість матеріалу метод спікання не впливає;
3. міцність зразків отриманих методом СВС у 1,5 рази вище міцності зразків отриманих методом пічного спікання за рахунок зміцнення зв'язків між елементами при СВС спіканні.

Таким чином доведено, що для отримання матеріалів конструкційного призначення доцільно використовувати відходи машинобудівного виробництва зменшивши енерговитрати за рахунок СВС-процесів.

**Аннотація.** *Исследовано фізико-механічні характеристики матеріала, отриманого методом пічного спікання та методом СВС. Сравнительний аналіз фізико-механічних властивостей матеріала з однаковим хімічним складом, отриманий методом пічного спікання та методом СВС-процесу свідчить, що пористість образців не залежить від методу спікання. Показано, що на деформаційні характеристики та твердість матеріалу метод спікання не впливає. Установлено, що для образців з однаковим хімічним складом та пористістю механічні параметри при СВС спіканні ростуть у 1,5 рази в порівнянні з пічним спіканням за рахунок зміцнення зв'язків між елементами системи. Для образців, отриманих методом СВС при статичному стисненні спостерігається хрупке руйнування, тоді як при пічному методі в результаті статичного стиснення в образці з'являються глибокі тріщини, які призводять до його руйнування. Таким чином, доведено, що для отримання матеріалів конструкційного призначення доцільно використовувати відходи машинобудівного виробництва, зменшивши енерговитрати за рахунок СВС-процесів.*

**Ключові слова:** спікання, пористість, СВС, структура.

**Abstract. Purpose.** *Comparisons of the traditional stove method of sintered and SHS-process and their influence on physico-mechanical properties of composition material, got on the basis of charge from powders of titan, steel of BBS15 and carbon.*

**Design/methodology/approach.** *By authors properties of material were considered on the basis of Ti-Fe, that got the traditional stove method of sintered, which is an charges of energy. In this case we suggest to use a SHS-method which with less expenses and more simple equipment allows to get materials with the best physics-mechanical by properties.*

**Findings.** *More strong descriptions of material got by the method of SHS in 1,5 times higher, than for standards got by the of stove method.*

**Originality/value.** *It is expedient to use wastes of machine-building production due to SHS-process for the receipt of construction materials.*

**Keywords:** SHS-method, Structure, Deformation

1. *Мержанов А.Г.* СВС-порошки и их технологическая переработка/ И.П. Боровинская, А. Г. Мержанов, С. Ю. Шаривкер. (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.*, Переработка отходов производства и потребления: Справочное издание / Под ред. док. техн. наук, проф. Б.Б. Бобовича, В.В. Девяткин - М.: Интернет Инжиниринг, 2000. - 496 с.
4. *Дорофеев Ю.Г.* Конструкционные порошковые материалы и изделия/ Ю. Г. Дорофеев, Л.Г. Мариненко, В. И. Устиненко /- М.: Металлургия, 1986.-144с.
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. *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 // Фізика і хімія твердого тіла. – 2008. - Т.9, № 3. - С. 567-573.
7. *Петрик І.Я.* Вплив режиму спікання зразків на структуру і фазовий склад системи Fe-Ti // Фізика і хімія твердого тіла. – 2007.- Т. 8, № 3. - С. 628-630.
8. *Жигуц Ю.М.* Методика розрахунку складу екзотермічних шихт на основі термохімічного аналізу/ Жигуц Ю., Широков В.М. // Машинознавство-Львів.-2005.-№4.-С.48-50.
9. *Повстяной О.Ю.* Дослідження структури та визначення пористості фільтруючих матеріалів отриманих із порошку сталі ШХ15/ О.Ю. Повстяной, В.Д. Рудь, О.В. Заболотний.// Наукові нотатки. – Луцьк: ЛДТУ, 2008. – Випуск 13. – с.249-254.
10. *Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [Е.А. Левашов, А.С. Рогачев, В.И. Юхвид и др.]-М.: Бинум, 2005.- 176 с.*

## REFERENCES

1. *Merzanov A.G.* SVS-poroshky i ih tehnologicheskaja pererabotka (SHS-powders and their technological processing) Russian Academy of Sciences. Institute structural macrokinetics and materials science problems. - Chernogolovka: ISMANS publishing house, 2000. 117 p.
2. *Merzanov A.G.* Samorosprostranjajuchijsja visokotemperaturnyj sintez v himii i tehnologii tygoplavkykh soedinenij (Self-extending high-temperature synthesis in chemistry and technology of refractory connections). VHO, 1999, Vol. XXIV, no. 3, pp. 223-227.
3. *Bobovich B.B.* Pererabotka othodov proizvodstva i potreblenija (Processing of production wastes and consumption). Internet Engineering, 2000. 496 p.
4. *Dorofeev Ju.G.* Konstrykcyjne poroshkovye materialy i izdelija (Constructional powder materials and products) Moscow: Metallurgy, 1986. 144 p.
5. *Rud' V. D., Gal'chuk T, N., Povstjanov O. Ju.* Sposib otrumannja metallevogo poroshky z shlamovykh vidhodiv pidshupnikovogo vyrobnictva [A method of receipt of metallic powder is from slime wastes of bearing production]. Patent Ukrainy No. 63558 A. 15.01.2004.
6. *Petryk I. Ja.* Doslidzhennja phormuvannja struktury systemy Fe –Ti v procesi dyphuzijnogo nasychennja ta spikannja z porochkovykh materialiv i vplyv ii na trybotehnichni vlastyvoli (Research of forming of structure of alloy of the system Fe - Ti in the process of diffusive satiation and sintered from powder-like materials and influence of it on tribotechnical property). Physics and chemistry of solid, 2008, Vol. 9, no. 3, pp. 567-573.
7. *Petryk I. Ja.* Vplyv rezhymu spikannja na strukturu i phazovykh sklad systemy Fe-Ti (Influence of the mode of sintered of standards on a structure and phase composition of the system Fe – Ti). Physics and chemistry of solid, 2007, Vol. 8, no. 3, pp. 628-630.
8. *Zygutc Ju. M., Chyrovokov V. M.* Metodyka rozrahunku skladu ekzotermichnykh shyht na osnovi termohimichnogo analizu (Methodology of calculation of composition of exothermic charges is on the basis of thermo-chemical analysis). Mashinoznavstvo, Lviv, 2005, no. 4, pp. 48-50.
9. *Rud' V. D., Povstjanov O. Ju., Zabolotnyj O.V.* Doslidchennja struktury ta vyznachennja porystosti fil'itrujuchykh materialiv otrymanyh iz porochku stali ШХ15 (Research of structure and porosimetry filter materials of got is from powder of steel of BBS15). Scientific notes, Lutsk: LSTU, 2008, no 13, pp. 249-254.
10. *Levachov E. A., Rogachev A. S., Juhvid V. I.* Phiziko-himicheskie i tehnodicheskie osnovy samorasprostranjajushegosja vysokotemperaturnogo sinteza (Physical and chemical and technological bases of self-extending high-temperature synthesis). Moscow: Binom, 2005. 176 p.