

## Особливості структуроутворення при спіканні багатокomпонентних залізо-скляних композитів

Г. А. Баглюк, доктор технічних наук

Г. А. Максимова, В. Я. Куровський, Г. М. Молчановська

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України

*Наведено результати дослідження особливостей структуроутворення при спіканні пресовок з багатокomпонентної порошкової суміші Fe (осн.) – 2 %  $B_4C$  – 5 % Si – 1 % BN – 5 % скло. Показано, що мікроструктура спечених при  $1200^\circ C$  металоскляних матеріалів має яскраво виражений гетерофазний характер і складається із сталеві матриці та скляної складової, яка розподіляється в сталевій матриці як у вигляді тонкого прошарку на міжзеренних границях, так і у вигляді окремих включень неправильної форми розміром до 30 – 50 мкм. Металева матрична фаза на основі заліза складається із зерен щонайменше трьох типів: бороцементиту  $Fe_3(B_{0,7}C_{0,3})$ , зерен пластинчатого та зерненого перліту, що мають в своєму складі до 1,0 – 1,3 (% по масі) Si. Показано, що в результаті взаємодії включень вихідного скла з елементами шихти при спіканні відбувається суттєва зміна хімічного складу скла, що приводить до формування щонайменше двох склоподібних фаз: оксидної фази на основі B, C та N, що сформувалася в результаті контактної взаємодії розплаву вихідного скла з продуктами дисоціації включень карбиду бору та частинками нітриду бору, та силікатних фаз, що включають елементи, які входять до складу вихідного скла, однак із суттєво підвищеним вмістом бору.*

Однією з найважливіших переваг порошкової металургії є можливість одержання псевдосплавів, синтез яких традиційними методами лиття практично неможливий. Показовим прикладом таких матеріалів є металоскляні композити, що представляють собою відносно пластичну металеву матрицю, в якій рівномірно розподілені включення скла, що мають підвищену твердість [1 – 4]. Ці композити показали високу ефективність як триботехнічні матеріали при використанні їх для виготовлення деталей вузлів тертя, що працюють у найрізноманітніших і складних умовах експлуатації (у тому числі – без змащення, у вакуумі, у абразиввміщуючому середовищі, тощо).

Отримання таких матеріалів методами лиття неможливе внаслідок значної різниці температур плавлення металу і скла, його коагуляції і ліквідації по щільності в процесі плавлення. В той же час, при використанні методів порошкової металургії для одержання металоскляних матеріалів у процесі спікання відбувається активна взаємодія включень скла з частками металеві фази, що завершується синтезом гетерогенної структури спеченого композита [2].

В даний час немає повного уявлення про фізико-хімічні процеси, що протікають у зоні з'єднання металів зі склом. Висуваються кілька теорій такої взаємодії, найбільше підтвердження серед яких одержала теорія оксидної взаємодії скла з металами [5 – 7]. В основі цієї теорії засади, які передбачають, що контактна взаємодія скла з металами і їх сплавами при нагріві здійснюється через оксидні шари. Оксиди металу і скла мають іонну структуру, тобто побудовані з іонів металу і кисню, тому між склом і оксидом металу утвориться перехідна структура, у якій іони з'єданого зі склом металу поступово, у міру наближення до скла, заміщаються іонами кремнію.

В ранніх публікаціях, присвячених розробці та дослідженню металоскляних матеріалів, розглядалися, головним чином, псевдосплави, як вихідні матеріали для одержання яких використовувалися суміші зі склом нелегованих порошоків заліза з вуглецем, нікелю, титану [1 – 3]. Оптимальний вміст скляної фази в металоскляному композиті, що забезпечує відносно високу зносостійкість при стабільному значенні коефіцієнта тертя і відносно високі характеристики міцності, складає близько 5 – 7 (% по масі) [8, 9].

Помітного підвищення основних фізико-механічних і експлуатаційних властивостей залізоскляних матеріалів можна досягти за рахунок модифікування металевої матричної фази композиту відповідними присадками, що забезпечують підвищення як антизадиристі, так і міцності та триботехнічних характеристик. Так, у [9, 10] показано, що суттєве підвищення триботехнічних властивостей металоскляних композитів може бути досягнуто шляхом легування металевої складової спечених та гарячештампованих псевдосплавів карбідом та нітридом бору і міддю. Однак, у вказаних роботах практично відсутні дані щодо особливостей структуроутворення таких композитів при їх спіканні.

Внаслідок вищенаведеного, метою даної роботи було дослідження особливостей структури спечених та гарячештампованих композитів системи залізо-скло, модифікованих міддю, карбідом та нітридом бору.

Вихідну шихту для синтезу металоскляних композитів готували із суміші порошоків заліза ПЖР-3.200.28 с розміром частинок 80 – 160 мкм і 5 % (по масі) порошку скла (табл. 1) з розміром частинок 40 мкм, отриманого розмелом листового скла в барабанному млині.

Таблиця 1

Фазовий склад листового скла

Вміст фаз (% по масі)				
SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
71,5	15,0	8,5	3,5	1,5

У якості протизадириної добавки використовували порошок нітриду бора (1 %). Для збільшення твердості і фрикційних параметрів матеріалів у порошкову суміш додавали карбід бора (2 %), а для підвищення міцності і теплопровідності матеріалу основи композиту використовували порошок міді (5 %).

Із шихти, отриманої змішуванням вихідних порошоків, під тиском 700 МПа одержували пористі заготовки, які спікали в середовищі проточного водню при температурі 1200 °С. Спечені заготовки для зниження пористості

піддавали наступному гарячому (від 1050 °С) штампуванню у напівзакритому штампі на дугостаторному пресі. Мікроструктурні дослідження шліфів проводилися на растровому електронному мікроскопі JEMP-9000-500S, оснащеному рентгенівською приставкою INCA-450. Латеральна роздільна здатність приладу складала 3 нм, напруга при рентгеноструктурному аналізі – 10 кВ.

Аналіз мікроструктури спечених металоскляних матеріалів показав, що вони мають яскраво виражену гетерофазну будову, яка складається з перлітної сталеві матриці та скляної фази. Остання розподіляється в сталевій матриці як у вигляді тонкого прошарку на міжзеренних границях, так і у вигляді окремих включень неправильної форми розміром до 30 – 50 мкм (рис. 1). Звертає на себе увагу, що центральна зона склоподібних включень має більш темний колір порівняно із їх периферійною областю (рис. 1, в, г). На границі некогерентного сполучення скла і перлітної матриці (рис. 1, д, є) виразно спостерігається перехідний шар, що формується в результаті взаємодії між оксидними фазами металеві складові, що знаходяться на поверхні частинок порошку із розплавом скла в процесі спікання.

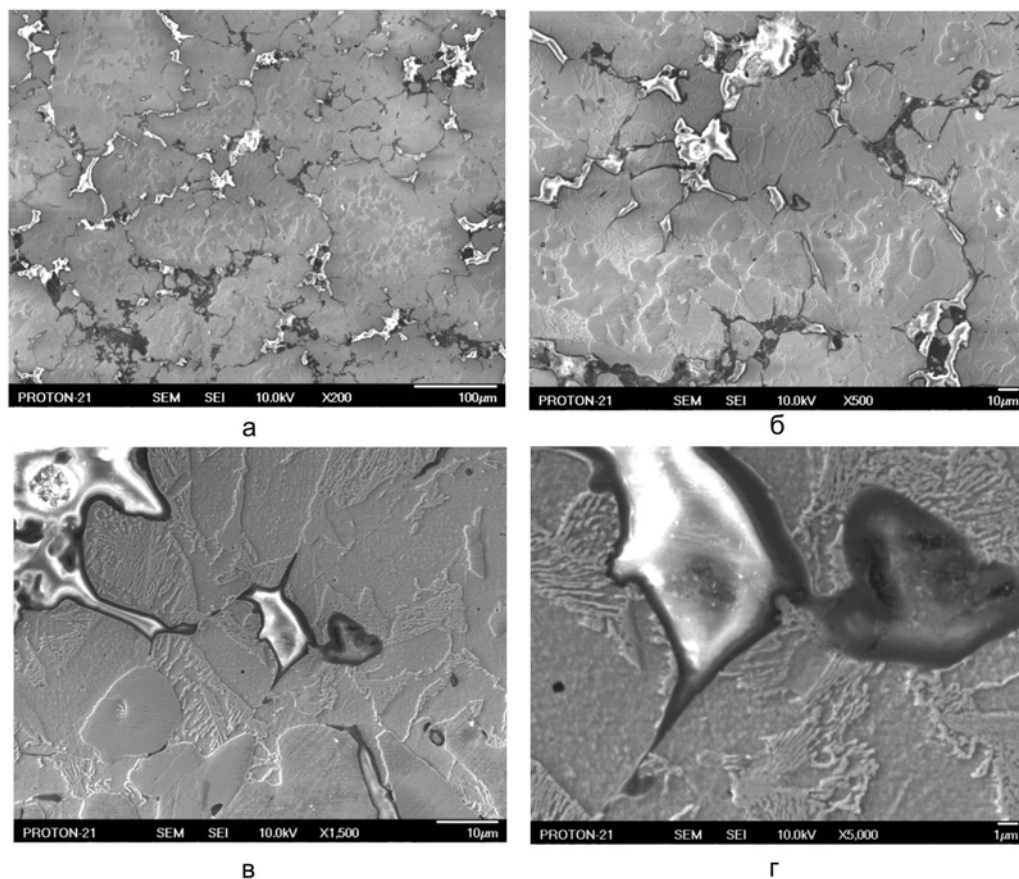


Рис. 1. Мікроструктури спеченого та гарячештампованого металоскляного композиту при різних збільшеннях.

Активна хімічна взаємодія між компонентами, що входять до складу контактуючих фаз (головним чином – вільного кремнезему скла з оксидами металів) при спіканні металоскляних порошкових сумішей викликає зміну кольору часток скла, що свідчить про активне насичення його іонами металу. У результаті цієї взаємодії відбувається зміна хімічного складу скляної фази (ситалізація скла) за рахунок збільшення вмісту заліза і зниження концентрації кремнію в склі (рис. 2 а), що було показано ще в роботі [2]. Підвищення температури спікання сприяє підвищенню інтенсивності розчинення в склі іонів металу основи. При цьому, в процесі спікання відбувається безперервне розчинення окисної плівки заліза у склі, чому сприяє також збільшення площі контакту рідкого скла з металевою фазою, а також процес витискування тривалентного заліза в склі атомарним залізом на границі розділу метал-скло.

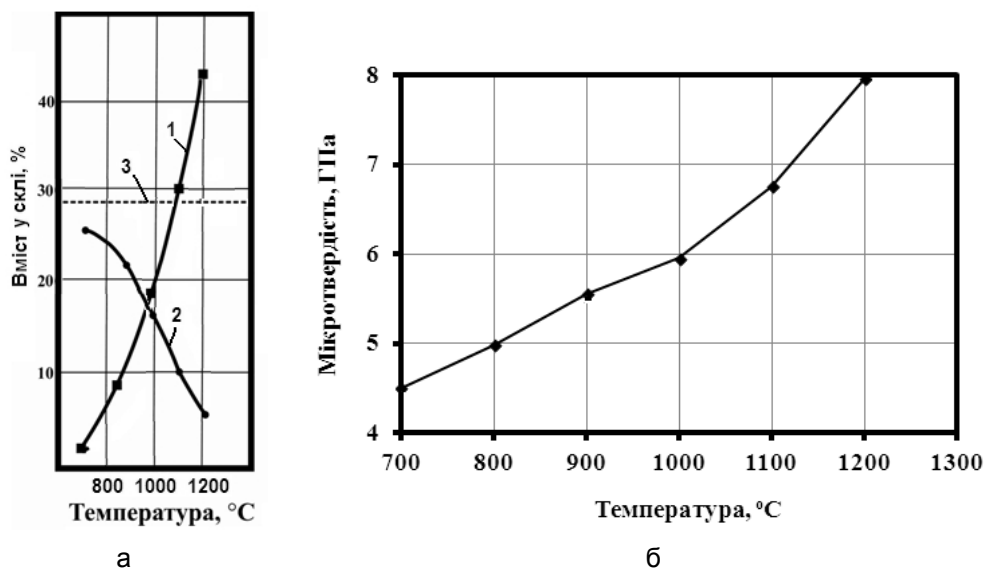


Рис. 2. Вплив температури спікання залізоскляних композитів на середній вміст заліза (1) та кремнію (2) у скляній фазі спеченого композиту (3 – вміст кремнію у вихідному склі) (а) та мікротвердості скляної фази (б) [2].

Як наслідок зміни хімічного складу скла в спечених металоскляних матеріалах відбувається збільшення середньої мікротвердості його частинок (рис. 2 б).

Як можна бачити із зображення мікрошліфа (рис. 3 а), металева матрична фаза на основі заліза (рис. 3 б) складається із зерен щонайменше трьох типів: зерна з підвищеним вмістом бору (рис. 3 в, спектри S13, S14 S15, рис. 3 а), зерна, що мають перлітну структуру типу заевтектоїдної сталі (спектри S10, S11 S12, рис. 3 а) та структуру пластинчастого перліту (спектри S16, S17 S18, рис. 3 а).

Рентгеноструктурні дослідження композиту показали, що їх матричну основу складає ферит з періодом кристалічної ґратки  $a = 0,28640$  нм (рис. 4). На рентгенограмі фіксуються також рефлекси фаз, що належать

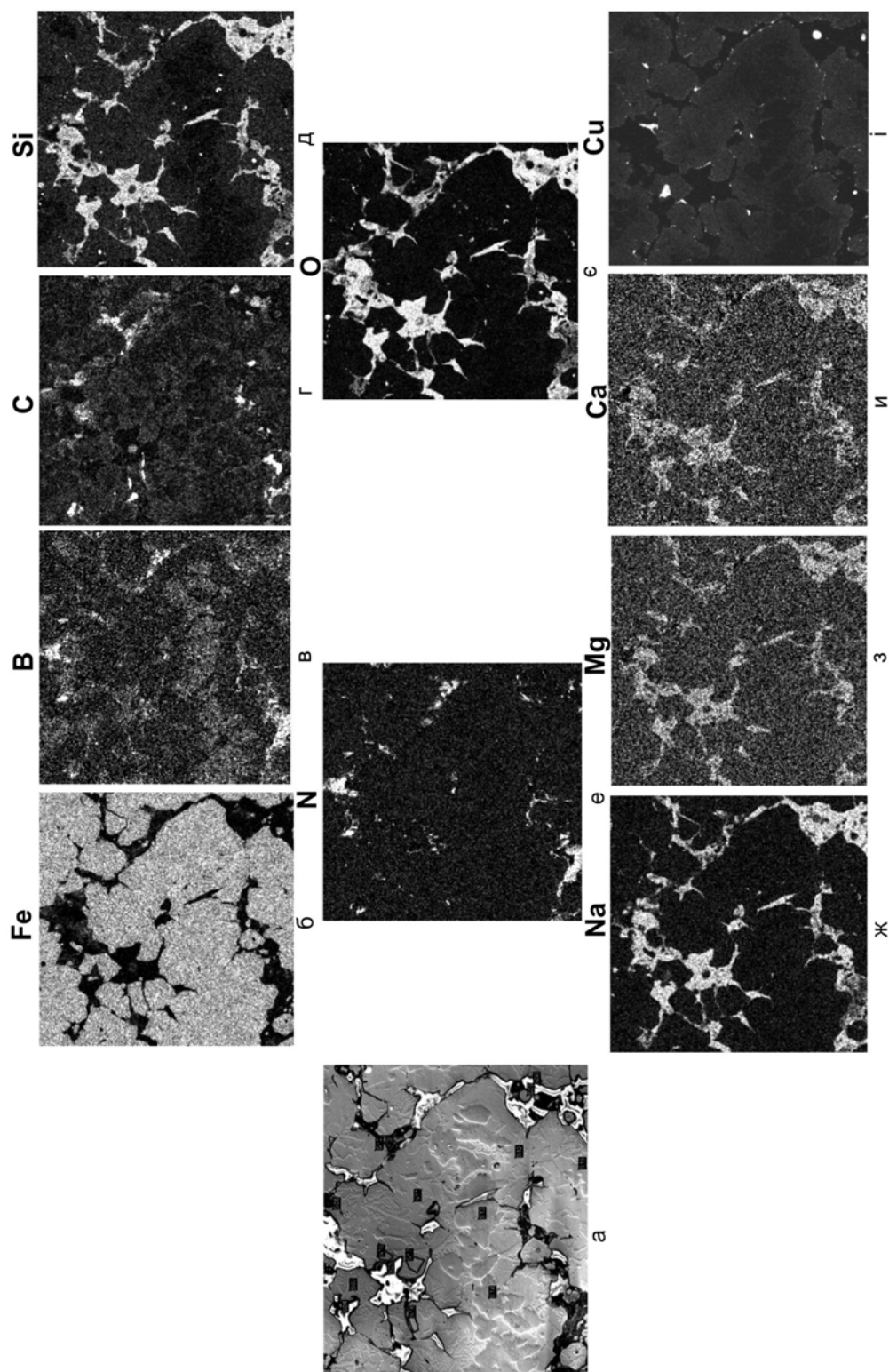


Рис. 3. Розподіл елементів по площі шліфа (режим SEI, зображення в характеристичному рентгенівському випромінюванні відповідних елементів).

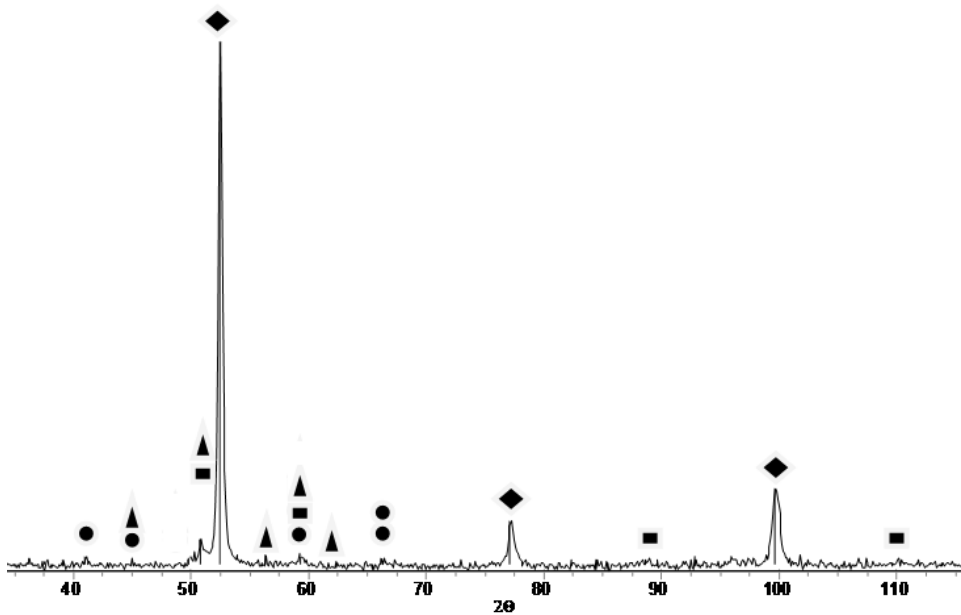


Рис. 4. Рентгенограма спеченого та гарячештампованого композиту 87 % Fe – 5 % скла – 2 %  $B_4C$  – 5 % Cu – 1 % BN.  $\blacklozenge$  –  $\alpha$ -Fe,  $\bullet$  –  $Fe_2O_3$ ,  $\blacksquare$  – Ca,  $\blacktriangle$  –  $Fe_3(B_{0,7}C_{0,3})$ .

бороцементиту  $Fe_3(B_{0,7}C_{0,3})$ , а також слабкі рефлекси оксиду заліза  $Fe_2O_3$  та міді. Піки, що відповідають фазі карбиду бору, який входив до складу вихідної шихти, не ідентифікуються, що обумовлено ефектом активної дисоціації зерен карбиду бору в контакт з сталеву матрицю при підвищених температурах [11]. Фазові складові композиту, що відносяться до скляної складової композиту, внаслідок їх незначного вмісту також не вдається ідентифікувати (інтенсивність їх піків, очевидно, знаходяться на рівні фону).

За результатами локального аналізу хімічного складу окремих зерен композиту (табл. 2) можна зробити висновок, що основною структурною складовою зерен металеві матриці з підвищеним вмістом бору (спектри S13, S14 S15, рис. 3 а) є бороцементит  $Fe_3(B_{0,7}C_{0,3})$ . Зерна пластинчастого (спектри S16, S17 S18) та зерненого (спектри S10, S11 S12) перліту мають в своєму складі до 1,0 – 1,3 % (по масі) Si, що обумовлено реалізацією ефекту заміщення іонів металу іонами кремнію в матричній фазі при взаємодії скла з залізом через оксидні шари на границі металеві та силікатної фаз, в результаті чого спостерігається підвищення концентрації кремнію в металевій матриці [2].

Слід відзначити, що на відміну від зерен пластинчастого перліту, зернений перліт, що формується головним чином в зонах, розташованих поблизу силікатних фаз, має в своєму складі підвищений вміст кисню (1,8 – 2,5 %).

Включення міді розташовуються в основному поблизу або всередині скляної фази і декорують некогерентні межі розділу скла і залізної матриці (рис. 3 і).

## Нові технологічні процеси і матеріали

Таблиця 2

Локальний кількісний мікроаналіз складових композиту

Spectrum	Вміст елементів, % (мас.)												
	B	C	N	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Cr	Fe	Cu	Total
S01	28,1	10,4	34,6	11,6	0,2			0,4	0,4		14,3		100,0
S02	31,9	11,9	41,9	6,5	0,1			0,4			7,3		100,0
S03	24,9	6,1	29,7	22,4	2,4	0,6		4,3	1,4		8,1		99,9
S04	15,3	2,2		52,6	12,6	2,0	0,6	11,2	3,6				100,1
S05	16,3	1,4		57,6	5,5	2,0	0,8	12,8	3,4				99,8
S06	13,2			56,4	11,5	2,1	0,7	12,5	3,6				100,0
S07		5,6		0,9							3,2	90,3	100,0
S08		4,9		14,0						12,2	3,3	65,6	100,0
S09		4,0		0,9							2,5	92,6	100,0
S10		6,7						1,3			81,9	10,1	100,0
S11		4,8						1,1			84,3	9,7	99,9
S12		3,1						1,0			87,9	8,0	100,0
S13	8,2	1,8									90,0		100,0
S14	8,5	3,1								5,7	82,6		99,9
S15	9,1	2,6								6,3	79,9	2,0	99,9
S16		4,4		1,8				1,0			80,3	12,6	100,1
S17		4,3		2,5				1,2			77,9	14,1	100,0
S18		3,8		1,8				1,2			81,7	11,6	100,1

Результати активної взаємодії між склом та металевою складовою композиту наочно ілюструється також даними локального хімічного аналізу включень склоподібних фаз. Як можна бачити з рис. 3 та даних табл. 2, склоподібні складові композиту включають щонайменше дві фази, які суттєво різняться між собою за хімічним складом. Значна площа зображення включень склофаз на шліфі (світлі зони), що головним чином межують із залізною матрицею (спектри S01 – S03), являють собою складні оксидні фази, що включають бор, вуглець та азот та відзначаються наявністю в своєму складі помітного вмісту заліза при значно меншому (щодо Na, Si, Ca) або навіть за відсутності (щодо Mg, Al) вмісту відповідних оксидних фаз, характерних для вихідного скла. Високий вміст кисню, B, C та N в складі цих склофаз дозволяє припустити, що вони сформувалися в результаті контактної взаємодії розплаву вихідного силікатного скла із продуктами дисоціації карбіду бору та частинками нітриду бору, що містилися в складі вихідної шихти.

Зони силікатних фаз більш темного кольору, які розташовані головним чином в центральній частині включень (спектри S04 – S06), вміщують елементи, що входять до складу вихідного скла, однак із суттєво підвищеним вмістом бору.

**Висновки** Мікроструктура спечених металоскляних матеріалів має яскраво виражений гетерофазний характер і складається із сталеві матриці та скляної фази, яка розподіляється в сталевій матриці як у вигляді тонкого прошарку на міжзеренних границях, так і у вигляді окремих включень неправильної форми розміром до 30 – 50 мкм.

Металева матрична фаза на основі заліза складається із зерен щонайменше трьох типів: бороцементиту  $Fe_3(B_{0,7}C_{0,3})$ , зерен пластинчатого та зеренного перліту, що мають в своєму складі до 1,0 – 1,3 % (по масі) Si.

Склоподібні складові композиту включають дві фази, які суттєво різняться між собою за хімічним складом, а саме: центральні зони силікатних фаз темного кольору, що мають склад, близький до складу вихідного скла із підвищеним вмістом бору, та включення оксидних склофаз які, відзначаються наявністю в своєму складі помітного вмісту бору, вуглецю, азоту та заліза при значно меншому (щодо Na, Si, Ca) або навіть за відсутності (щодо Mg, Al) вмісту їх оксидних фаз, характерних для вихідного скла.

## Література

1. Радомысельский И.Д., Сердюк Г.Г., Щербань Н.И. Конструкционные порошковые материалы. - Київ.: Техніка, 1985. - 152 с.
2. Власюк Р.З. Исследование процессов структурообразования при спекании металлостеклянных материалов // Дисс. ... канд. техн. наук. – Киев, 1972. – 154 с.
3. Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысельский И.Д. и др. Порошковая металлургия, материалы, технология, свойства, области применения: Справочник. – Киев: Наук. думка, 1985. – 624 с.
4. Беляев Е.С., Колосова Т.М., Алексеев В.А. Структура и свойства металлостеклянных материалов на основе порошка карбонильного железа // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 4. – С. 22 – 27.
5. Бачин В.А. Диффузионная сварка стекла и керамики с металлами. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
6. Люшинский А.В. Диффузионная сварка разнородных материалов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 208 с.
7. Гридасова Е.А. Повышение прочностных свойств стекла в результате металлизации методом диффузионной сварки // Дисс. ... канд. техн. наук. – Комсомольск-на-Амуре, 2013. – 134 с.
8. Баглюк Г.А., Куровский В.Я. Механические и триботехнические свойства горячештампованных железостеклянных композитов // Металлургия машиностроения. – 2014. – № 6. – С. 23 – 26.
9. Баглюк Г.А., Куровський В.Я. Вплив вмісту скляної фази гарячештампованих залізоскляних композитів на їх механічні та триботехнічні властивості // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин. – Київ: ІЕС ім. Є.О. Пагона НАН України. – 2015. – С. 645 – 648.
10. Баглюк Г. А., Куровский В. Я. Механические и триботехнические свойства порошковых металлостеклянных композитов на основе железоуглеродистых сталей // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. – Матер. 12-й Международной научно-техн. конф. (Минск, 25-27 мая 2016 г.) – Минск: Беларуская навука, 2016. – С. 17 – 21.



11. Bagliuk G.A., Kurovskiy V., Kostenko O. Effect of metal phase composition on mechanical and tribological properties of Fe-glass composites // XIII International Scientific Congress "Machines. Technologies. Materials. 2016." -14-17.09.2016. – Varna, Bulgaria. – II. – P. 23 – 28.
12. Baglyuk G.A., Napara-Volgina S.G., Mamonova A.A. Investigating the Dependence of the Properties of Sintered Boron-Containing Steels on Conditions of Synthesis and the Content of Employed Foundry Alloys // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2012. – 53, No. 5. – P. 425 – 428.

## References

1. Radomyselskij I.D., Serdjuk G.G., Shherban N.I. (1985) *Konstrukcionnye poroshkovye materialy*. [Constructional powder materials]. Kiev: Tehnika [in Russian].
2. Vlasjuk R.Z. (1972) *Issledovanie processov strukturoobrazovanija pri spekanii metallostekljannyh materialov* [The study of structure formation by processes in sintering-metal materials] Diss. k. t. n. Kiev [in Russian].
3. Fedorchenko I.M., Francevich I.N., Radomyselskij I.D. (1985) *Poroshkovaja metallurgija, materialy, tehnologija, svojstva, oblasti primenenija: Spravochnik*. [Powder metallurgy, materials, technology, properties and applications: Directory]. Kiev: Nauk. Dumka [in Russian].
4. Beljaev E.S., Kolosova T.M., Alekseev V.A., Makarov N.V., Getmanovskij Ju.A. (2015) Struktura i svojstva metallostekljannyh materialov na osnove poroshka karbonil'nogo zheleza [The structure and properties materials of glass-metals based on carbonyl iron powder]. *Fundamentalnye issledovanija – Fundamental research*, 4, 22 – 27 [in Russian].
5. Bachin V.A. (1986) *Diffuzionnaja svarka stekla i keramiki s metallami* [The diffusion welding of glass and ceramics with metals]. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
6. Ljushinskij A.B. (2006) Diffuzionnaja svarka raznorodnyh materialov [Diffusion welding of dissimilar materials]. Moskva: Izdatelskij centr «Akademija» [in Russian].
7. Gridasova E.A. (2013) *Povyshenie prochnostnyh svojstv stekla v rezul'tate metallizacii metodom diffuzionnoj svarki* [Increasing the strength properties of the glass as a result of the metallization method of diffusion welding] Diss. k. t. n. Komsomolsk-na-Amure [in Russian].
8. Bagljuk G.A., Kurovskij V.Ja. (2014) Mehanicheskie i tribotekhnicheskie svojstva gorjaceshtampovannyh zhelezostekljannyh kompozitov [The mechanical and tribological properties of hot-forging of iron-glass composites]. *Metallurgija mashinostroenija – Metallurgy Engineering*, 6, 23 – 26 [in Russian].
9. Bagljuk G.A., Kurov's'kij V.Ja. (2015) Vpliv vmistu skl'janoi fazi garjaceshtampovanih zalizoskl'janih kompozitiv na ih mehanichni ta tribotekhnichni vlastivosti [Effect of glass phase hot pressed iron-glass composites on their mechanical and Tribotechnical properties]. Problemi resursu i bezpeki eksploatacii konstrukcij, sporud ta mashin – The problems of life and safety resources of structures, buildings and machines. Kiev, 645 – 648 [in Ukraine].
10. Bagljuk G. A., Kurovskij V. Ja. Mehanicheskie i tribotekhnicheskie svojstva poroshkovyh metallostekljannyh kompozitiv na osnove zhelezouglerodistyh stalej. [The mechanical and tribological properties of powder-metal composites based on iron-carbon steels]. Abstracts of Papers: *XII Mezhdunarodnaja nauchno – tehnokogicheskaja konferencija. Novye materialy i tehnologii: poroshkovaja metallurgija, kompozicionnye materialy, zashhitnye pokrytija, svarka ( 25 – 27 maja 2016 hoda) – 12nd International Scientific Technical Conference (17 – 21 p.)* Minsk: Belarusskaja navuka 26 [in Russian].

11. Baglyuk G.A., Kurovskiy V., Kostenko O. Effect of metal phase composition on mechanical and tribological properties of Fe-glass composites // XIII *International Scientific Congress «Machines. Technologies. Materials. 2016»* – (14 – 17 september 2016). – Varna, Bulgaria. Vol. II. – P. 23 – 28. [in English].
12. Baglyuk G.A., Napara-Volgina S.G., Mamonova A.A., Orlova L.N., Kud' V.K. (2012) Investigating the Dependence of the Properties of Sintered Boron-Containing Steels on Conditions of Synthesis and the Content of Employed Foundry Alloys // *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. – Vol. 53, 5, 425 – 428 [in English].

Одержано 12.07.16

Г. А. Баглюк, Г. А. Максимова, В. Я. Куровский, Г. М. Молчановская

**Особенности структурообразования при спекании  
многокомпонентных железостеклянных композитов**

**Резюме**

Приведены результаты исследования особенностей структурообразования при спекании при 1200 °С пресовок из многокомпонентной порошковой смеси Fe (осн.) – 2 %  $B_4C$  – 5 % Cu – 1 % BN – 5 % стекло. Показано, что микроструктура спеченных металлостеклянных материалов имеет ярко выраженный гетерофазный характер и состоит из стальной матрицы и стеклянной составляющей, которая распределяется в стальной матрице как в виде тонкой прослойки на межзёренных границах, так и в виде отдельных включений неправильной формы размером до 30 – 50 мкм. Металлическая матричная фаза на основе железа состоит из зерен по меньшей мере трех типов: бороцементита  $Fe_3(B_{0,7}C_{0,3})$ , зерен пластинчатого и зеренного перлита, которые имеют в своем составе до 1,0 – 1,3 % (масс.) Si. Показано, что в результате взаимодействия включений исходного стекла с элементами шихты при спекании происходит существенное изменение химического состава стекла, которое приводит к формированию по меньшей мере двух стекловидных фаз: оксидной фазы на основе B, C и N, сформированной в результате контактного взаимодействия расплава исходного стекла с продуктами диссоциации включений карбида бора и частичками нитрида бора, и силикатных фаз, которые включают элементы, входящие в состав исходного стекла, однако с существенно повышенным содержанием бора.

G. A. Baglyuk, G. A. Maksimova, V. J.Kurovski, G. M. Molchanovska

**Features of the formation of structure in the sintering of multi-  
component iron-glass composites**

**Summary**

The results of investigations of the structure formation during perform sintering at 1200 ° C of multi-component powder mixture of Fe (base) – 2 %  $B_4C$  – 5 % of Cu – 1 % BN – 5 % of the glass. It is shown that the microstructure of the sintered-metal material has a pronounced heterogeneous nature and consists of steel matrix and the glass component, which is distributed in the steel matrix in the form of thin layers on grain boundaries and in the form of individual inclusions of irregular shape with a size up to 30 – 50 microns. Metal matrix phase of iron-based grains composed of at least three types: boron

cementite  $Fe_3(B_{0,7}C_{0,3})$ , grains and lamellar pearlite grains, which are composed of up to 1,0 – 1,3 % (wt.) Si. It has been shown that the interaction of the original glass inclusions from elements of powder mixture during sintering occurs significant change in the chemical composition of the glass, which leads to the formation of at least two vitreous phases: oxide phase on the basis of B, C and N, formed as a result of contact interaction of original glass melt with product of boron carbide particles dissociation and inclusions of boron nitride, and silicate phases which comprise elements belonging to the original glass, but with a significantly higher boron contents.

УДК 621.762

## *Вплив хімічного складу на структуру та механічні властивості сплавів системи Nb – Si – B*

І. Ю. Троснікова, кандидат технічних наук

П. І. Лобода, доктор технічних наук, професор, член-кор. НАН України

О. О. Івашура

Національний технічний університет України «КПІ» ім. І. Сікорського, Київ

*Досліджено мікроструктуру, морфологію фазових складових, хімічний склад та механічні властивості сплавів системи Nb – Si – B, отриманих опаленням пресовок електронним променем.*

На сьогодні існує багато матеріалів, що працюють при високих температурах в агресивних середовищах та методів, що дозволяють відновлювати спрацьовані або зношені деталі. Завдяки цьому значно зменшуються витрати на проведення ремонтних робіт, зникає необхідність дострокової заміни пошкоджених деталей.

У вирішенні цієї проблеми особливе місце належить сплавам на основі ніобію, які за своїми властивостями дозволяють забезпечити ефективний захист поверхні основного матеріалу від негативного впливу зовнішніх факторів та можуть працювати за високих температур. Ніобієві сплави також є основою для створення легких інженерних конструкцій в багатьох галузях промисловості, зокрема в авіації, аерокосмічній техніці, автотранспортній галузі, тощо. Серед низки цих сплавів значний інтерес викликають композиційні сплави системи Nb – Si – B, які мають покращені фізико-механічні властивості за підвищених температур експлуатації [1].

Серед перспективних матеріалів слід відзначити сплави систем Mo – Si – B та Nb – Si – B, з низькою питомою вагою (порядку 6,1 – 7,2 г/см<sup>3</sup>), стійкістю до окиснення в широкому інтервалі температур, за рахунок утворення на поверхні боросилікатного шару, дисперсної високощільної