УДК 621.762; 661.87 DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2025.111.0.43

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ Fe-Ti-C-B ВІД ПАРАМЕТРІВ ІПС

Дерев'янко О. В.[1], Присташ М. С.[2], Небожак І. А.[3]
[1]Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України
[2]Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України
[3]Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України

Анотація. *В умовах ІПС і в разі використання лише постійного електричного струму (спрямлений змінний струм) як енергетичного чинника джоулевого тепла отримано металокомпозит із порошкового складу на основі Fe-Ti-C-B, де містилося 75 % Fe- 20% Ti- 5% B_4C. Визначено, що тривалість ізотермічної витримки вельми впливає на таку характеристику матеріалу, як твердість. Зазначено, що існують оптимальні електротермочасові межі тривалості ІПС. Відхилення від них призводить до погіршення властивостей матеріалу. Для вибраного складу визначено оптимальний режим ІПС. Він у разі використання постійного електричного струму дозволяє застосовувати металокомпозит як інструментальний чи конструкційний матеріал.*
Ключові слова: *іскроплазмове спікання (ІПС) (SPS technology), постійний струм, електророзрядне диспергування, B_4C.*

Вступ

Важливим завданням сучасного матеріалознавства передусім є пошук способів створення новітніх матеріалів і принципів їх отримання. До таких матеріалів належать металокомпозити, які можуть бути використані як інструментальні чи конструкційні матеріали. На сьогодні основною метою є збереження в металокомпозитах дрібнодисперсної структури й отримання компактів із більшою відносною щільністю та більш тонкою структурою. Це можливо здійснити завдяки високої швидкості нагрівання, зменшення часу витримки в процесі досягнення температури консолідації та використання технологічних процесів оброблення матеріалів, що є відмінними від традиційних технологічних рішень, зокрема гарячого й ізостатичного пресування. Технологічний метод консолідації порошкових матеріалів, який задовольняє вищезазначеним умовам – це технологія іскроплазмового спікання (ІПС) (SPS technology). Використання ІПС дає змогу отримувати матеріали високої щільності за достатньо короткий проміжок часу в процесі застосування незначного рівня підпресовування (до 60 МПа) під час електромеханічного оброблення. Це насамперед пов'язано із особливостями дії сили електричного струму на порошковий матеріал. Електромагнітний ефект, що виникає від проходження електричного струму, також впливає на зменшення тривалості робочого циклу під час процесу консолідації порошкового матеріалу. Практичні дослідження щодо використання ІПС на сьогодні вже сформували загальну думку про вплив параметрів електромеханічних параметрів на формування властивостей виробів, зокрема про вплив електричної енергії під час її безпосереднього додавання до порошкового пресування [1].

Технологія ІПС, зокрема обладнання, яке виробляють світові лідери випуску промислового устаткування, безпосередньо використовує для здійснення процесу консолідації дисперсних матеріалів електричний струм знакопозитивної форми (рис. 1) [2, 3, 4].

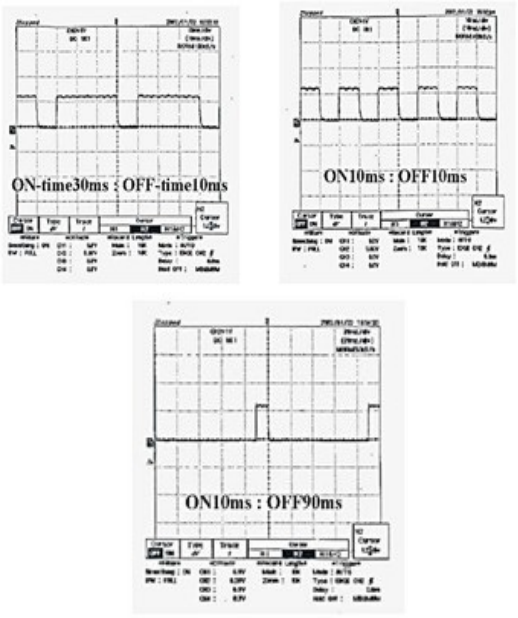


Рис. 1. Типова форма сигналу імпульсного генератора ІПС інверторного типу (коефіцієнт увімкнення-вимкнення за 50 Гц).

Така форма електричного сигналу насамперед пов'язана із конструктивними особливостями конструювання та виготовлення устаткування, яке має видавати в режимі експлуатації електричний струм достатньо великого рівня, наприклад від 2 до 10 кА. Крім того, у світі є велика кількість інших конструктивних рішень щодо використання форми електричного сигналу, яка може відрізнятися від знакопозитивної, для здійснення процесу ІПС.

В Інституті проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної академії наук України було проведено дослідження щодо отримання композита на металевій основі із додаванням карбіду бору. Склади на основі Fe-Ti-C-B мають високу стійкість до абразивного зношування та достатню твердість і міцність. Основними галуззями застосування складів на основі системи Fe-Ti-C-B є машинобудування (виготовлення деталей машин, які зношуються умовах терня, наприклад ковзання, що направляють, зубці шестерень різного типу редукторів) та інструментальне призначення для оброблення деталей методами різання чи стругання [5].

Склади на такій основі мають достатньо гарну електропровідність, що також є позитивним фактором для використання технології ІПС [6].

Обладнання для ІПС

Є випадки, коли процес ІПС доцільно здійснювати за використання випрямленого змінного струму. З метою реалізації досліджень було застосовано стаціонарне устаткування ЕРАН2/1, яке спроєктоване й доопрацьоване так, що на ньому можна проводити процес ІПС з використанням електричного струму постійної складової (постійний струм, Direct Current (DC)) (рис. 2) [7].

1– струмопідвідні плити; 2 – електроди-пуансони з графіту; 3 – порошкова суміш; 4 – матриця прес-інструменту з графіту; 5 – механічне підпресування преса

Рис. 2. Схема устаткування ЕРАН 2/1

Для отримання зразків виробів на основі залізо-титан-вуглець була виготовлена прес-форма з високоміцного графіту марки МПГ-6 та його закордонних аналогів [8, 9, 10]. Він має високу теплопровідність (на рівні карбіду кремнію) й низький електроопір (// та ⊥, відповідно, 0,385 і 52,0 мкОм×м).

Виготовлена прес-форма забезпечує отримання виробів циліндричної форми діаметром 10 мм за механічного навантаження 300 кг відповідно до рекомендацій щодо електромеханічних навантажень, наведених у [11].

Матеріали, що було використано та режими їх отримання

Вибраний порошковий склад на основі залізо-титан із домішками карбіду бору, де 75 % Fe-20 % Ti-5 % B_4C, попередньо було оброблено за методикою для електророзрядного диспергування [12–15].

Отриманий в процесі електророзрядного оброблення порошковий склад на основі Fe-Ti-C-B використовувався у формі постачання і без будь-якої додаткової підготовки. Під час рентгеноструктурного аналізу обробленого порошкового складу на основі Fe-Ti-C-B було визначено, що суміш має у своєму складі вуглець. Він міг утворитися під час оброблення порошкової суміші в гасі в умовах дії електророзрядних імпульсів.

З метою досягнення практичного результату з отримання металокомпозита було проведено шість циклів спікань зразків за різними режимами. Кожний цикл вміщував по 5–7 зразків.

Під час цього процесу отримували зразки діаметром 10 мм і різною висотою: від 5,44 до 7,60 мм. Така різниця за висотою була через використання параметрів ІПС, що відрізнялися кожного разу. Тобто в якомусь інтервалі були відхилення в швидкості досягнення температури ізотермічної витримки, її тривалості, швидкості збільшення сили струму, рівня (величини) механічного підпресовування під час ІПС [16, 17].

Процес ІПС здійснювали без використання захисного середовища (рис. 3).

Температуру контролювали за допомогою інфрачервоного пірометра марки DT-8869H на бічній поверхні прес-форми. Запис електромеханічних параметрів здійснювали за допомогою системи аналого-цифрових перетворювачів відповідно до схеми на рис. 3. Після завершення процесу варіювання параметрів ІПС було визначено оптимальний

режим ІПС, який як приклад і подано на рис. 4.

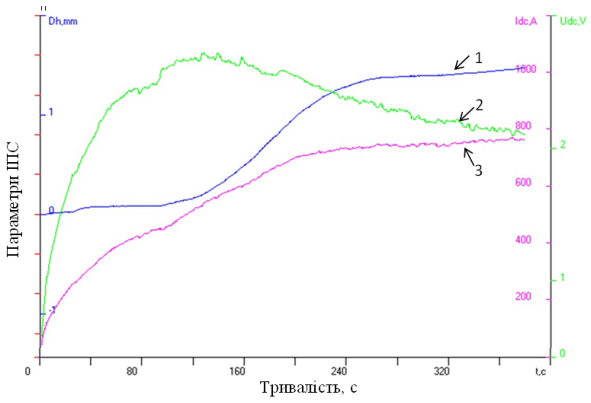
а

б

Рис. 3. Прес-інструмент перед завантаженням (а) і в момент встановлення (б)

На рис. 4 можна бачити падіння напруги, яке обумовлюється зменшенням електричного опору в зонах контактування порошкових частинок в процесі проходження електричного струму вздовж контактного скелета, що утворився.

Але і в умовах ІПС контактний скелет не є сталим. За створених умов ІПС напруга електричного струму зменшуватиметься до деякої величини до моменту завершення процесу консолідації порошкового тіла [16].



1 – усадження;
2 – напруга;
3 – струм

Рис. 4. Режим ІПС

Процес консолідації здійснюється за певною моделлю, в якій відбувається збільшення температури завдяки безпосередньому виділенню джоулевого тепла в тілі порошкової пресовки.

За такої умови консолідація може відбуватися за не дуже тривалий час (від 30 до 40 с) [2].

У такій моделі нагрівання перешийків між частинками тільки сприятиме покращенню якості виробу [18].

На рис. 5 наведені приклади зразків, що були отримані під час використання оптимальних технологічних параметрів ІПС.

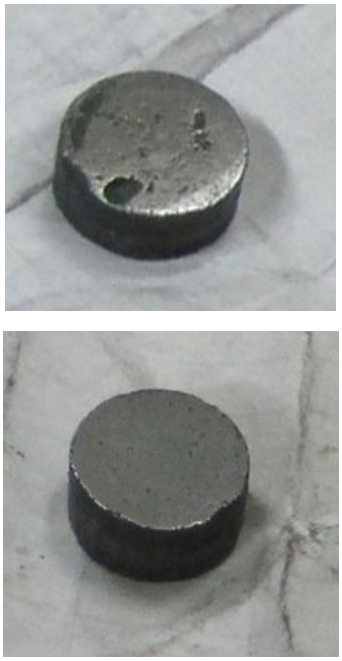


Рис. 5. Приклад зразків «вдалого» режиму отримання

Обговорення результатів дослідження

Під час аналізу результатів досліджень було визначено, що збільшення ізотермічної витримки в процесі ІПС призводить кожного разу до зміни вигляду поверхні. За умови збільшення витримки під час ІПС зміна вигляду відбувається вбік збільшення розміру структурних складників.

Це можна пояснити так: збільшення тривалості витримки провокує подальші послідовні зміни в структурі. Такі зміни насамперед позначатимуться на властивостях матеріалу.

Отже, існують оптимальні електротермочасові межі процесу ІПС, поза якими властивості матеріалу стають гіршими. Цей висновок зазначений в табл. 1.

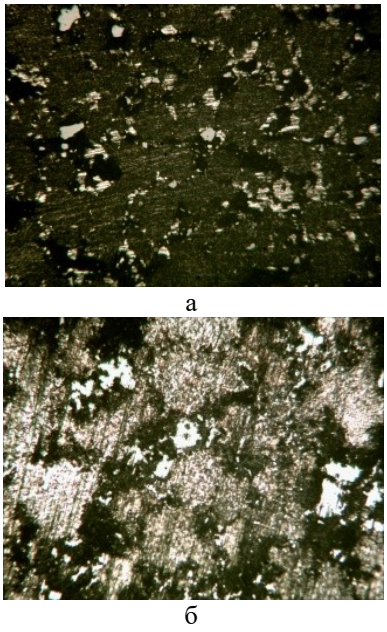
Відхилення щодо вимірювання твердості поверхні зразків не перевищували 15–20 %.

Сам матеріал зразків має незначні відхилення в твердості між верхньою частиною зразка та нижньою.

Таблиця 1 – Вплив режимів ІПС на твердість

№ п\п	Струм, А	Тривалість, хв:с (витримка, с).	Температура, °С	Твердість, HRB, верх/низ зразка	Різниця в твердості верх/низ зразка, %
1	723	03:28 (30)	740	63/65	3
2	766	06:20 (180)	670	75/90	17
3	743	05:33 (120)	650	118/115	3

Згідно з рисунком, тривалість ізотермічної витримки впливає на твердість композита. Для проведених досліджень тривалість витримки в 120 с є цілком оптимальною (рис. 6).

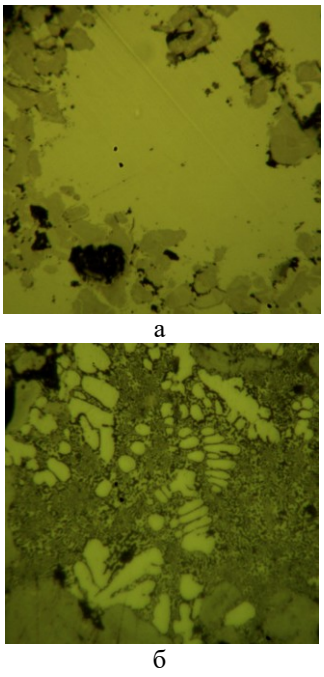


а

б

Рис. 6. Мікрофотографії поверхні зразків відповідно до табл. 1, де (а) – 1, (б) – 2, збільшення ×100

Під час морфометричних досліджень було визначено, що поверхня матеріалу чітко дорівнює процентному змісту ~25–30 % із вмістом дрібноструктурних компонентів (рис. 7), які охоплюють деяку просторову область [17]. Морфологія вказує на відповідність вихідному складу порошкової суміші із 75 % Fe-20 % Ti-5% B_4C.



а

б

Рис. 7. Поверхня зразка за оптимальним режимом отримання, збільшення х400 (а) і х600 (б)

Під час проведення експериментальних досліджень було визначено таке:

- у процесі консолідації порошкових тіл (сумішей) різної дисперсності під дією електричного струму можна отримувати цілісні тверді тіла з механо-фізичними властивостями, достатніми для їх використання в промисловості;

- завжди необхідно враховувати особливості походження сипучого матеріалу: відсоткове співвідношення компонентів, їхні теплофізичні властивості, можливі ефекти хімічних взаємодій у комплексній системі.

Висновок

Проведені дослідницькі роботи дозволяють дійти висновку про те, що немає перешкод для застосування постійного електричного струму як основного енергетичного джерела в процесі ІПС для отримання композита складу 75 % Fe-20 % Ti-5% B_4C, які можуть бути використані як інструментальні чи конструкційні матеріали.

Література

1. Дерев'янко О.В. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. *Особливості сплавоутворення при консолідації порошкових матеріалів на основі абразив-металевих систем під дією електричного струму*. Автореферат дис. … канд. техн. наук. К., 2021. 28 с. Режим доступу: http://www.materials.kiev.ua/abstract/76/aref_Derevyanko.pdf.

2. H. U. Kessel, J. Hennicke, R. Kirchner, T. Kessel. Rapid sintering of novel materials by fast/sps – further development to the point of an industrial production process with high cost efficiency / Сайт компанії FCT Fine Ceramics Technologies GmbH & Co KG. – Режим доступу: www.fct-systeme.de.
3. Технологія спікання в іскровій плазмі. FCT Systeme GmbH. Режим доступу: https://surl.li/ktsmup.
4. Masao Tokita. Progress of Spark Plasma Sintering (SPS) Method, Systems, Ceramics Applications and Industrialization // Ceramics. – 2021, 4(2), p. 160–198. Режим доступу: https://doi.org/10.3390/ ceramics4020014.
5. The impact of current shape during the consolidation process on physico-mechanical properties of functional Fe–Ti–C–B materials / O. Syzonenko, A. Zaichenko, A. Kovalenko, N. Pristash, A. Torpakov // Materials science. Non-equilibrium phase transformations. – 2017. – Vol. 4, No. 4. – P. 130–133. – ISSN 2367-749X (Print), ISSN 2534-8477 (Online).
6. Peculiarities of Fe powder consolidation in conditions of spark-plasma sintering / O. Syzonenko, M. Prystash, A. Torpakov // Machines. Technologies. Materials. – 2018. – Vol. 12, No. 1. – P. 41–44. – ISSN 1313-0226 (Print), ISSN 1314-507X (Online).
7. "Створення обладнання для одержання металевих та керамічних композитів іскроплазмовим спіканням порошків", Етап 1 "Розробка експериментального зразка обладнання для іскроплазмового спікання порошків": Звіт про НДР (ІІ-2-11, договір від 2011.02.07 № 285, 2011 р.), (проміжний), / ІПМ НАН України, кер. докт. техн. наук, гол.наук.співроб. Райченко О.І. –К., 2011 р. 61 с. – № держреєстрації 0111U002897.
8. Конструкційний графіт марки МПГ-6 згідно ТУ 01-58-69.
9. Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes. Properties, Processing and Applications. by Hugh O. Pierson Consultant and Sandia National Laboratories (retired) Albuquerque, New Mexico. Copyright © 1993 by Noyes Publications. Library of Congress Catalog Card Number: 93-29744. ISBN: 0-8155-1339-9. Printed in the United States. 471 P. – Режим доступу: https://surl.li/zjrmrz.
10. Industrial Carbon and Graphite Materials Raw Materials, Production and Applications Jäger, Hubert/ Frohs, Wilhelm (Editor). Handbook/Reference Book. 1-st Edition, April 2021 XL, ISBN: 978-3-527-33603-6. 968 P. – Режим доступу: https://surl.li/bmeeyz.
11. Studying the effect of estimated parameters on the distribution of temperature zones in the elements of a mold under conditions of activated processing. / A. Morozov, V. Olijnyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(12 (105), 2020. p/15–28. https://doi.org/10.15587/ 1729-4061.2020.205500.
12. Dispersion of particles in the emulsion by the electric current / O. N. Sizonenko, A. I. Raichenko, A. S. Torpakov, A. V. Derevianko // High Temperature Materials and Processes. 2015. – Vol. 34, No. 7. – P. 689–696. – ISSN 2191-0324 (Online), ISSN 0334-6455(Print). Режим доступу: https://doi.org/10.1515/ htmp-2014- 0131.
13. Вплив електророзрядної дії на композицію порошківFe-Ti-B_4C / О.М. Сизоненко, Г.А. Баглюк, А.А. Мамонова, Е.І. Тафтай, А.С. Торпаков, А.А. Жданов, А.Д. Зайченко, Є.В. Липян. // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2011 Випуск №31. с. 333-343. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2011_31_62.
14. Peculiarities of Fe–Ti–B_4C powder mixture electric discharge treatment / O. N. Syzonenko, H. A. Bahliuk, A. A. Mamonova, E. I. Taftaj, A. S. Torpakov, Y. V. Lypian, A. D. Zaichenko, O. O. Zhdanov // HighMatTech : Proceedings of the 3-rd Inter. Conf. Ukraine, Oct. 3–7, – K.: IPMS, 2011. P. 211. Режим доступу: http://www.materials.kiev.ua/ conferences/ hmt 2011/ Programme%20English%202011.pdf.
15. Electric current dispersion of particles in emulsion / O. N. Sizonenko, A. I. Raichenko, A. V. Derevyanko, A. S. Torpakov // HighMatTech : Proceedings of the 4-th International conference (Kiev, Ukraine, October 7–11, 2013). – Kiev : IPMS, 2013. – P. 143. Режим доступу: http://www.materials.kiev.ua/umrs/ua/html/Programme2013eng.pdf
16. Derev'yanko O. V., Zgalat-Lozynskyi O. B. "Consolidation of powder materials based on diamond and ceramic-metal systems under electric current action". Abstracts of 6th International conference "HighMathTech 2019". – October 28-30, 2019. – Kyiv, Ukraine. P. 85. Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/13adjm4Y0LavfYHwZWkaGyoNg9wOrLHeO/view.
17. Influence of time duration of electric current action on properties powder-like material on basis iron-titan with addition of boron carbide – O.V. Derev'yanko, L.F. Goncharuk, O.I. Raichenko, G.A. Baglyuk, T.I. Istomina, C.G. Pyatachuk – International conference "Materials and Coatings for Extreme Performances: Investigations, Applications, Ecologically Safe Technologies for Their Production and Utilization". Abstrct book. September, Kyiv, Ukraine.– September 2014. C 130. Режим доступу: http://www.materials.kiev.ua/conferences/MEE2014/English%20Version%20of%20MEE-2014.pdf
18. Raichenko O. I. Model of Compaction Process of a Porous Powder Elastic-Viscous Material at Electric Sintering, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 38, No. 5: 635—645 (2016) (in Russian), DOI: 10.15407/mfint.38.05.0635.

References

1. Derev'yanko O.V. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. *Features of alloying during the consolidation of powder materials based on abrasive-metal systems under electric current action*. Abstract of the dissertation …

Candidate of Technical Sciences. K., 2021. 28 c. Access mode: http://www.materials.kiev.ua/ abstract/ 76/ aref_Derevyanko.pdf.
2. H. U. Kessel, J. Hennicke, R. Kirchner, T. Kessel. Rapid sintering of novel materials by fast/sps – further development to the point of an industrial production process with high cost efficiency / Company website FCT Fine Ceramics Technologies GmbH & Co KG. – Access mode: www.fct-systeme.de.
3. Spark plasma sintering technology. FCT Systeme GmbH. Access mode: https://surl.li/ktsmup.
4. Masao Tokita. Progress of Spark Plasma Sintering (SPS) Method, Systems, Ceramics Applications and Industrialization // Ceramics. – 2021, 4(2), p.160-198. Access mode: https://doi.org/ 10.3390/ ceramics4020014.
5. The impact of current shape during the consolidation process on physico-mechanical properties of functional Fe–Ti–C–B materials / O. Syzonenko, A. Zaichenko, A. Kovalenko, N. Pristash, A. Torpakov // Materials science. Non-equilibrium phase transformations. – 2017. – Vol. 4, No. 4. – P. 130–133. – ISSN 2367-749X (Print), ISSN 2534-8477 (Online).
6. Peculiarities of Fe powder consolidation in conditions of spark-plasma sintering / O. Syzonenko, M. Prystash, A. Torpakov // Machines. Technologies. Materials. – 2018. – Vol. 12, No. 1. – P. 41–44. – ISSN 1313-0226 (Print), ISSN 1314-507X (Online).
7. "Creation of equipment for obtaining metal and ceramic composites by Spark Plasma Sintering of powders", Stage 1 "Development of an experimental sample of equipment for Spark Plasma Sintering of powders": Report on the research (II-2-11, contract dated 2011.02.07 No. 285, 2011), (interim), / IPMS NAS of Ukraine, manager Doctor of Technical Sciences, chief scientist Raichenko O.I. – Kyiv, 2011. 61 p. – State registration number 0111U002897.
8. Structural graphite grade MPG-6 according to TI 01-58-69.
9. Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes. Properties, Processing and Applications. by Hugh O. Pierson Consultant and Sandia National Laboratories (retired) Albuquerque, New Mexico. Copyright © 1993 by Noyes Publications. Library of Congress Catalog Card Number: 93-29744. ISBN: 0-8155-1339-9. Printed in the United States. 471 P. – Access mode: https://surl.li/ zjrmrz.
10. Industrial Carbon and Graphite Materials Raw Materials, Production and Applications Jäger, Hubert/ Frohs, Wilhelm (Editor). Handbook/ Reference Book. 1-st Edition, April 2021 XL, ISBN: 978-3-527-33603-6. 968 P. – Access mode: https://surl.li/bmeeyz.
11. Studying the effect of estimated parameters on the distribution of temperature zones in the elements of a mold under conditions of activated processing. / A. Morozov, V. Olijnyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(12 (105), 2020. p/15–28. Access mode: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205500.
12. Dispersion of particles in the emulsion by the electric current / O. N. Sizonenko, A. I. Raichenko, A. S. Torpakov, A. V. Derevianko // High Temperature Materials and Processes. 2015. – Vol. 34, No. 7. – P. 689–696. – ISSN 2191-0324 (Online), ISSN 0334-6455(Print). Access mode: https://doi.org/10.1515/ htmp-2014- 0131.
13. The influence of electric discharge on the composition of powders Fe-Ti-B_4C / O.M. Syzonenko, G.A. Baglyuk, A.A. Mamonova, E.I. Taftay, A.S. Torpakov, A.A. Zhdanov, A.D. Zaichenko, E.V. Lipyan // Interuniversity collection "NAUKOVI_ NOTATKI". Lutsk, 2011 Issue №31. p. 333-343. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ Nn_ 2011_ 31_62.
14. Peculiarities of Fe–Ti–B_4C powder mixture electric discharge treatment / O. N. Syzonenko, H. A. Bahliuk, A. A. Mamonova, E. I. Taftaj, A. S. Torpakov, Y. V. Lypian, A. D. Zaichenko, O. O. Zhdanov // HighMatTech : Proceedings of the 3-rd Inter. Conf. Ukraine, Oct. 3–7, – Kiev : IPMS, 2011. – P. 211. Access mode: http://www.materials. kiev.ua/conferences/hmt2011/Programme%20English%202011.pdf.
15. Electric current dispersion of particles in emulsion / O. N. Sizonenko, A. I. Raichenko, A. V. Derevyanko, A. S. Torpakov // HighMatTech : Proceedings of the 4-th International conference (Kiev, Ukraine, October 7–11, 2013). – Kiev : IPMS, 2013. – P. 143. Access mode: http://www.materials.kiev.ua/umrs/ua/html/Programme2013eng.pdf
16. Derev'yanko O. V., Zgalat-Lozynskyi O. B. "Consolidation of powder materials based on diamond and ceramic-metal systems under electric current action". Abstracts of 6th International conference "HighMathTech 2019". – October 28-30, 2019. – Kyiv, Ukraine. P. 85. Access mode: https://drive.google.com/file/d/13adjm4Y0LavfYHwZWkaGyoNg9wOrLHeO/view.
17. Influence of time duration of electric current action on properties powder-like material on basis iron-titan with addition of boron carbide – O.V. Derev'yanko, L.F. Goncharuk, O.I. Raichenko, G.A. Baglyuk, T.I. Istomina, C.G. Pyatachuk – International conference "Materials and Coatings for Extreme Performances: Investigations, Applications, Ecologically Safe Technologies for Their Production and Utilization". Abstrct book. September, Kyiv, Ukraine.– September 2014. C 130. Access mode: http://www.materials.kiev.ua/ conerences/ MEE2014/English%20Version%20of%20MEE-2014.pdf
18. Raichenko O. I. Model of Compaction Process of a Porous Powder Elastic-Viscous Material at Electric Sintering, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 38, No. 5: 635—645 (2016) (in Russian), DOI: 10.15407/mfint.38.05.0635.

Дерев'янко Олександр Васильович, к.т.н., старший науковий співробітник, відділу термомеханічної обробки тугоплавких матеріалів, тел. +380505277354, alederevyanko@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-2345-7869, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, вул. Омеляна Пріцака, 303142, м. Київ, Україна,
Приставш Микола Сергійович, к.т.н., старший науковий співробітник відділу імпульсної обробки дисперсних систем, тел. +380512587143, msprystash@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7617-6200, Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, пр. Богоявленський, 43-а, 54018, м. Миколаїв, Україна,
Небожак Іван Анатолійович[3], к.т.н., науковий співробітник відділу фізико-хімії ливарних процесів, тел. +380 96 7385264, nebozhak@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-0291-8144, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, бул. Акад. Вернадського, 34/1, 03142, Київ, Україна.

Dependence of the properties of Fe-Ti-C-B-Based materials on SPS parameters

Problem. *The paper presents research aimed at obtaining a metal composite from a powder composition based on Fe-Ti-C-B, which contains 75 % Fe-20 % Ti-5 % B_4C using the SPS technology. Metal composites, which contain titanium and boron carbide in their composition, are of increased interest in industry, where they can be used as tools or structural materials. A fairly simple production technology was used, which is currently a very relevant technological solution.* ***Goal****. The purpose of the work is to obtain a metal composite based on Fe-Ti-C-B under SPS conditions using only direct electric current (rectified alternating current) as the energy factor of Joule heat.* ***Methodology****. The research was carried out using stationary equipment ERAN2/1, which has the ability to carry out the SPS process using an electric current of a direct component, an optical microscope NEOPHOT-21, X-ray equipment DRON-3, and a hardness tester TK-2M.* ***Results****. The result of the work is the determination of a sufficiently short-term (total duration up to 7 min.) and at the same time optimal mode for obtaining a metal composite from a powder composition based on Fe-Ti-C-B, containing 75 % Fe-20 % Ti-5 % B_4C, under SPC conditions using direct current. It is demonstrated that there is an appropriate duration of isothermal holding under SPC conditions. An increase or decrease in the duration of isothermal holding leads to a deterioration in the properties of the material. Morphological studies of the surface showed that at a hardness of 118/115 HRB, there is a clear correspondence of the content of ~25–30 % of fine-structure components, which cover a certain spatial region, which clearly indicates compliance with the initial composition of the powder mixture with 75 % Fe-20 % Ti-5 % B_4C.* ***Originality****. The scientific novelty of the conducted research lies in the innovative approach to the implementation of SPC technology. That is, to implement the SPS process of dispersed materials, instead of using an electric current of a positive sign, a rectified current was used. This approach increases the efficiency of the SPS process due to the actual absence of frequency components in the electrical signal.* ***Practical value****. The practical significance of the research work is determined by the constant need to search for new and innovative technological approaches and practical solutions for SPS technology. Their application allows to reduce, for example, of such technological parameters of SPS as the duration and temperature of the process of obtaining a metal composite. In Ukraine, similar studies are currently being conducted on the production of metal composites containing boron carbide for "heavy" operating conditions in order to increase wear resistance and extend the service life of machine parts.*

Keywords: *spark plasma sintering (SPS technology), direct current, electric discharge dispersion, B_4C.*

Derev'yanko Oleksandr Vasylyovych[1], Ph.D., Senior Researcher, Department of Thermomechanical Processing of Refractory Materials, https://orcid.org/0000-0002-2345-7869, alederevyanko@gmail.com,
Prystash Mykola Serhiyovych[2], Ph.D., Senior Researcher, Department of Pulse Processing of Disperse Systems, https://orcid.org/0000-0002-7617-6200, msprystash@gmail.com,
Nebozhak Ivan Anatoliyovych[3], Ph.D., Researcher, Department of Physics and Chemistry of Foundry Processes, https://orcid.org/0000-0002-0291-8144, nebozhak@ukr.net.
[1]Institute for Problems of Materials Science named after I.M. Frantsevich, NAS of Ukraine, 03142, Kyiv, Omelyan Pritsak (Krzhyzhanovsky) St., 3,
[2]Institute of Pulse Processes and Technologies, NAS of Ukraine, 54018, Mykolaiv, Bogoyavlensky Ave., 43-a,
[3]Physical and Technological Institute of Metals and Alloys, NAS of Ukraine, 03142, Kyiv, Acad. Vernadsky Blvd., 34/1.