

Створення принципово нових "гібридних" каркасних матеріалів для підвищення стійкості електродів та продуктивності технології контактної зварювання

Создание принципиально новых "гибридных" каркасных материалов для повышения стойкости электродов и производительности технологии контактной сварки

R&D of new "hybrid" frame materials to increase the stability of the electrodes and the productivity of contact welding technology

- 1. Номер державної реєстрації теми - № 0117U006427,**
- 2. Науковий керівник – к.т.н., Солодкий Є.В., Солодкий Е.В., Solodkyi I.V.**

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.) Встановлено закономірності формування каркасних матеріалів в системі $\text{LaB}_6\text{-TiB}_2\text{-Cu}$. Встановлення впливу технологічних параметрів процесу отримання в умовах іскроплазмового спікання та модифікації поверхні керамічних армованих частинок на структуру, механічні та електричні властивості тугоплавкого каркасу. Методом іскроплазмового спікання при температурах $850\text{ }^\circ\text{C}$ - $1100\text{ }^\circ\text{C}$ було отримано композити $(\text{LaB}_6\text{-TiB}_2)\text{-Cu}$, з вмістом тугоплавкої сполуки 2,5-70 об.%. Встановлено, що вміст тугоплавких частинок $\text{LaB}_6\text{-TiB}_2$ сферичної форми у кількості понад 30 об.% забезпечує формування безперервного каркасу в процесі іскроплазмового спікання порошкових сумішей. Показано ефективність зміцнення границь розділу між мідною матрицею та керамічними частинками шляхом армування волокнами TiB_2 . Експериментально показано, що за рахунок армування границі розділу міцність «гібридного» каркасного матеріалу зросла з 255 ± 15 МПа до 496 ± 25 МПа. Зміцнення відбувається за рахунок участі керамічних високоміцних частинок в процесі руйнування. Встановлено, що металокерамічні композити мають електроопір (1,09-5,76 мкОм·см) на рівні традиційних електродів із міді, легованої цирконієм, нікелем чи хромом при цьому їх твердість та міцність перевищує аналоги на 60 та 70 %, відповідно. Встановлено вплив експлуатаційних умов точкового зварювання на структуру, хімічний та фазовий склад виготовлених електродів було виконано випробування 3-х пар електродів з різною кількістю високоміцної керамічної фази. Випробування проводили на змінного струму. Робоча поверхня електроду становила 4 мм. Контроль структури, хімічного і фазового складу проводили кожні 100 циклів. Виготовлено, що після 500 циклів роботи зміна хімічного складу та структури не відбувається.

(рос.) Установлены закономерности формирования каркасных материалов в системе $\text{LaB}_6\text{-TiB}_2\text{-Cu}$. Установление влияния технологических параметров процесса получения в условиях искроплазмового спекания и модификации поверхности керамических армированных частиц на структуру, механические и электрические свойства тугоплавкого каркаса. Методом искроплазмового спекания при температуре $850\text{ }^\circ\text{C}$ - $1100\text{ }^\circ\text{C}$ было получено композиты $(\text{LaB}_6\text{-TiB}_2)\text{-Cu}$, с содержанием тугоплавкого соединения 2,5-70 об.%. Установлено, что содержание тугоплавких частиц $\text{LaB}_6\text{-TiB}_2$ сферической формы в количестве более 30 об.% Обеспечивает формирование непрерывного каркаса в процессе искроплазмового спекания порошковых смесей. Показана эффективность укрепления границ раздела между медной матрицей и керамическими частицами путем армирования волокнами TiB_2 . Экспериментально показано, что за счет армирования границе раздела прочность «гибридного» каркасного материала выросла с 255 ± 15 МПа до 496 ± 25 МПа. Укрепление происходит за счет участия керамических высокоміцних частиц в процессе разрушения. Установлено, что металлокерамические композиты имеют электросопротивление (1,09-5,76 мкОм · см) на уровне традиционных электродов с меди, легированной цирконием, никелем

или хромом при этом их твердость и прочность превышает аналоги на 60 и 70%, соответственно.

Установлено влияние эксплуатационных условий точечной сварки на структуру, химический и фазовый состав изготовленных электродов были выполнены испытания 3-х пар электродов с разным количеством высокопрочной керамической фазы. Испытания проводили на переменного тока. Рабочая поверхность электрода составляла 4 мм. Контроль структуры, химического и фазового состава проводили каждые 100 циклов. Изготовлено, что после 500 циклов работы изменение химического состава и структуры не происходит.

(eng.) The regularity of the formation of framework materials in the LaB₆-TiB₂-Cu systems was Regularities of formation of frame materials in the LaB₆-TiB₂-Cu system are established. Establishing the influence of technological parameters of the production process in the conditions of spark-plasma sintering and surface modification of ceramic reinforced particles on the structure, mechanical and electrical properties of the refractory frame. Spark-plasma sintering by temperatures of 850 ° C-1100 ° C was obtained composites (LaB₆-TiB₂) -Cu, with a content of refractory compound 2.5-70 vol.%. It was found that the content of refractory LaB₆-TiB₂ particles of spherical shape in the amount of more than 30 vol.% Provides the formation of a continuous framework in the process of spark-plasma sintering of powder mixtures. The efficiency of strengthening the interface between the copper matrix and ceramic particles by reinforcement with TiB₂ fibers is shown. It is shown experimentally that due to the reinforcement of the interface the strength of the "hybrid" frame material increased from 255 ± 15 MPa to 496 ± 25 MPa. Hardening occurs due to the participation of high-strength ceramic particles in the destruction process. It was found that metal-ceramic composites have an electrical resistance (1.09-5.76 μОcm⁻¹) at the level of traditional electrodes made of copper doped with zirconium, nickel or chromium, and their hardness and strength exceed their analogues by 60 and 70%, respectively. The influence of operational conditions of spot welding on the structure, chemical and phase composition of the manufactured electrodes was established, 3 pairs of electrodes with different amount of high-strength ceramic phase were tested. The test was performed on alternating current. The working surface of the electrode was 4 mm. Control of structure, chemical and phase composition was performed every 100 cycles. It is made that after 500 cycles of work the change of chemical composition and structure does not occur.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Патент на винахід №122359 Спосіб отримання металокерамічного композиційного матеріалу для електродів контактного зварювання Лобода П.І., Богомол Ю.І., Троснікова І.Ю., Соловійова Т.О. від 26.10.2020р

2. Патент на корисну модель №132030 Спосіб отримання металокерамічного композиційного матеріалу для електродів контактного зварювання Лобода П.І., Богомол Ю.І., Троснікова І.Ю., Соловійова Т.О. від 11.02.2019р

3. Патент на корисну модель №132029 Металокерамічний композиційний матеріал для електродів контактного зварювання від 11.02.2019р Лобода П.І., Богомол Ю.І., Троснікова І.Ю., Соловійова Т.О.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Експлуатаційні характеристики розроблених «гібридних» каркасних матеріали електродів контактного зварювання відповідають світовому рівню, а підходи та технічні рішення використані під час їх створення не мають аналогів у світі.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Розроблені матеріали електродів контактного зварювання дозволяють на 15-25 % збільшити термін їх експлуатації. Також, розроблені матеріали можуть бути використані при виготовленні електродів для мікроконтактного зварювання.

7. Потенційні користувачі

Машинобудівні підприємства України (підприємства корпорації УкрІнМаш). Підприємства по виготовленню виробів із застосуванням контактного зварювання.

8. Стан готовності розробки

Можливість виготовлення дослідного зразка по ТЗ замовника. Розроблена технологія готова до масштабування.

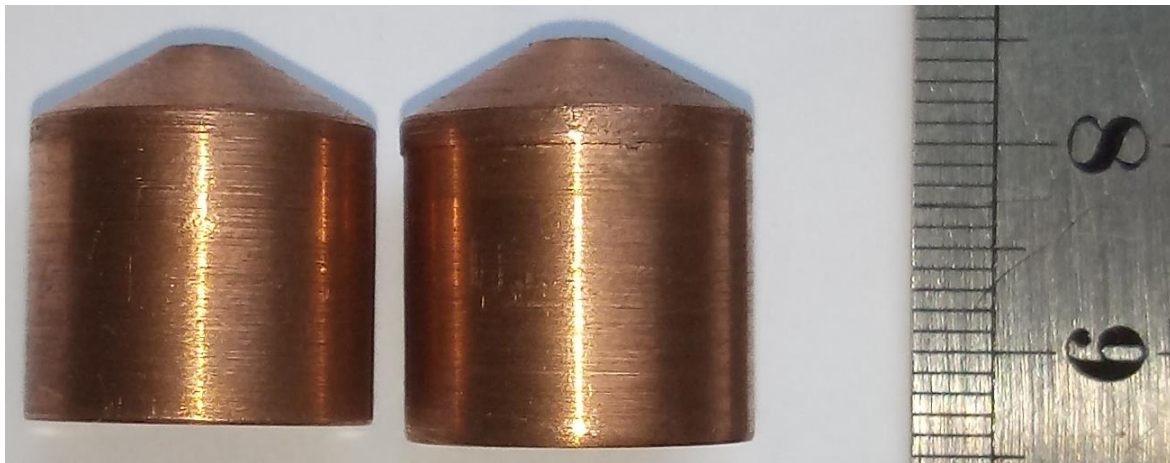
9. Існуючі результати впровадження.

Розроблені металокерамічні каркасні матеріали для електродів контактного зварювання пройшли дослідно-промислове випробування на ДП «Антонов» і показали свою перспективність. По результатам робіт складено акт.

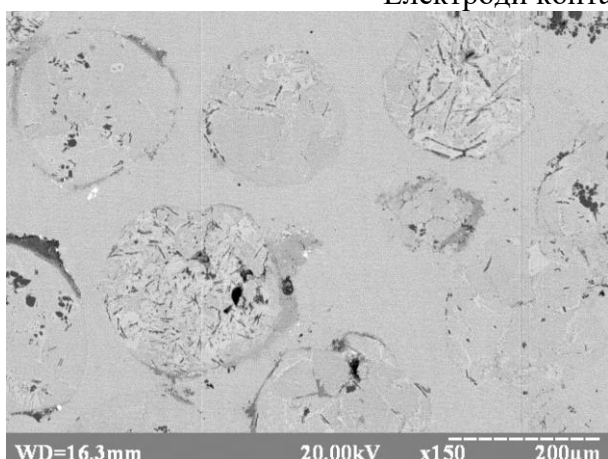
10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, інститут матеріалознавства та зварювання, кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, тел. (044) 204-82-15, solodkyi@iff.kpi.ua

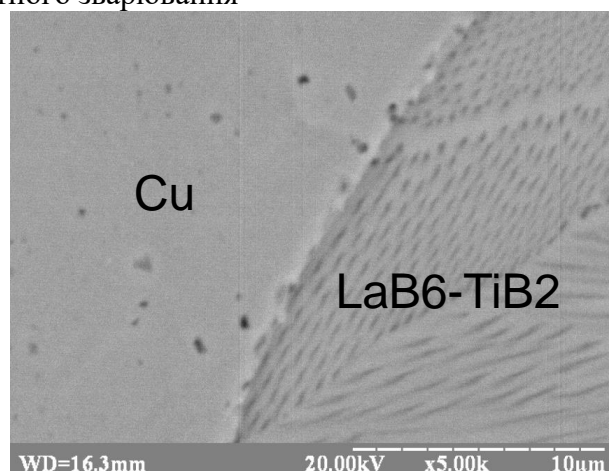
11. Фото розробки



Електроди контактного зварювання



Макроструктура каркасного матеріалу



Мікроструктура каркасного матеріалу

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки.

1. Solodkyi I., Bezdorozhev, O., Loboda, P. High electrical conductive copper matrix composites reinforced with LaB6–TiB2 eutectic particles Vacuum, Volume 177, (2020), 109407

2. Solodkyi, I., Bogomol, I., Bolbut, V., Loboda, P., Kuncser, A., Vasylykiv, O., Badica, P. Hierarchical composites of B₄C–TiB₂ eutectic particles reinforced with Ti, *Ceramics International* 46 [18], Part A, (2020). P. 28132-28144.

3. Soloviova T.O., Solodkyi I.V., Loboda P.I. Spark Plasma Sintering of Cu-(LaB₆-TiB₂) Metal-Ceramic Composite and Its Physical-Mechanical Properties *Journal of Superhard Materials* 41(4), pp. 213-220 (2019)

4. I. Solodkyi, O.Bezdorozhev, M.Vterkovskiy, I.Bogomol, V.Bolbut, M.Krüger, P.Badica, P.Loboda Addition of Carbon fibers into B₄C infiltrated with molten silicon *Ceramics International*, Volume 45, Issue 1, January 2019, Pages 168-174.

5. Popov O., Loboda P., Klepko O., Solovjova, T. Reactive sintering of bulk multi-phase ceramics based on LaB₆-TiB₂ eutectic granules, *Advances in Applied Ceramics*, 118(4), pp. 217-221 (2019)

13. Надати ключові слова до розробки

МЕТАЛОКЕРАМІЧНИЙ КОМПОЗИТ, КАРКАСНИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, ЕЛЕКТРОДИ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ, ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ.