

# Получение соединений разнородных материалов электроимпульсной сваркой – прессованием\*

Виноградов В.Г., Стрижаков Е.Л., Нескоромный С.В.

Донской государственный технический университет  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

[Vbif001@yandex.ru](mailto:Vbif001@yandex.ru), [strizhakov@inbox.ru](mailto:strizhakov@inbox.ru), [nescoromniy@mail.ru](mailto:nescoromniy@mail.ru)

**Аннотация.** Представлено исследование процесса высокоскоростной консолидации порошковых материалов с одновременным образованием сварного соединения с поверхностью металлического основания. Используется тепловое и силовое воздействие в результате пропускания импульса тока через порошковую композицию и индуктор. Предложена электрическая схема последовательного соединения зоны обработки и магнитного молота, состоящего из плоского индуктора и толкателя.

Устройство электроимпульсной сварки-прессования (ЭИСП) подключено к генератору импульсных токов (ГИТ) с емкостным накопителем энергии. Импульсные токи амплитудой 200 - 300 кА позволяют получить джоулево тепло, разогревающее композицию до предплавления температур (0,6-0,8) Тпл, и магнитное давление порядка  $500 \cdot 10^6$  Н/мм<sup>2</sup> за время осуществления процесса (100-200)·10<sup>-6</sup> с. Используются оборудование энергоемкостью до 10 кДж с частотой разряда тока 5 кГц.

Исследование зоны соединения показали, что сварка композиции с монолитными материалами происходит в твердой фазе, новых структур не образуется.

Введение в зону прессования монолитного материала в виде проволоки позволяет получить соединение разнородных материалов с сохранением исходной структуры. Порошковая композиция является в данном случае связующим элементом. Таким образом, получены соединения меди со сталью, алюминием, латунью и другими материалами. Получены зависимости прочности соединений от энергии разряда ГИТ.

**Ключевые слова:** порошковая композиция, индуктор, магнитный молот, генератор импульсных токов, энергоемкость, частота разряда тока.

## ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на значительные трудности (образованию трещин, из-за разности коэффициентов линейного расширения металлов, интерметаллидных соединений) консолидации разнородных материалов, их применение растет в современной технике. Это обусловлено значительными техническими и экономическими преимуществами, которые имеют конструкции из разнородных материалов. Соединения реализуются в разных конструктивных решениях и разными способами сварки. В последние годы особое внимание уделяется способам соединения разнородных материалов с использованием порошковых композиций [1].

Консолидация порошков традиционными способами обусловлена трудоемкостью процесса и занимает значительное время. Авторами статьи поставлена цель – разработать и исследовать соединение монолитных разнородных материалов с использованием прессованных порошковых композиций в качестве связующего элемента. Консолидацию предлагается осуществлять импульсным электроспеканием, что значительно сокращает время получения соединения.

## ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ СВАРКА-ПРЕССОВАНИЕ СО СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

В качестве объекта исследования выбрана конструктивная схема соединения медной проволоки со стальным основанием – аналог конструкции вывода электрохимической защиты (ЭХЗ) трубопроводов, рис. 1 [2].

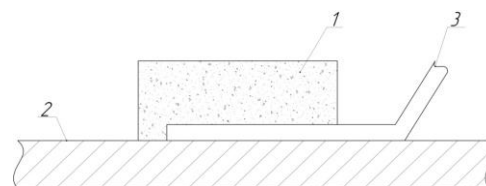


Рис. 1. Конструктивная схема вывода электрохимической защиты (ЭХЗ):

1 – порошковая прессовка (взамен спеченной термитной смеси); 2 – металлическая пластина (имитатор трубы); 3 – вывод (медная проволока)

Традиционно вывод ЭХЗ получают с помощью термитной сварки. В процессе сгорания термитной смеси образуется расплав на основе меди, который является связующим звеном в соединении стали и меди. Авторы предлагают заменить расплав на спрессованный и спеченный порошок. Осуществлять это предлагается импульсным электроспеканием [3, 4].

Электроимпульсная сварка-прессование (ЭИСП) представляет собой метод получения компактных изделий из порошков, в которых используется одновременное воздействие на порошковую заготовку мощного высоковольтного импульса электрического тока и механического давления.

Разряд генератора импульсных токов (ГИТ) обеспечивает мощное энерговыделение в порошковой прессовке [5, 6].

\* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Международной научно-практической конференции "Материаловедение и металлургические технологии" (RusMetalCon-2019), <https://rusmetalcon.susu.ru>

В процессе ЭИСП спеченная порошковая заготовка обжимается силами магнитного поля, создаваемого электрическим током, так и давлением от внешней системы нагружения [7].

Короткая длительность импульса при ЭИСП 100-200 мкс обеспечивает высокую скорость компактизации порошкового материала, что дает возможность проводить процесс на воздухе без использования защитной атмосферы или вакуума. Высокая скорость консолидации при ЭИСП позволяет так же сохранять в прессовке свойства и состав исходного порошка. Импульсный нагрев со статическим давлением 10 кг/мм<sup>2</sup> позволяет получать изделия с пористостью материала на 20-30% [8].

Для изготовления конструкции представленной на рис. 1 авторами было предложено устройство для получения соединений из разнородных материалов, изображенное на рис. 2 [9]. При ЭИСП использовалась матрица диаметром 10 мм, с высотой засыпки порошка 5 мм, диаметр электрода-пуансона 10 мм. Качество оценивалось механическими испытаниями на сдвиг, она достигало значений  $P_{сд} = 170$  Н.

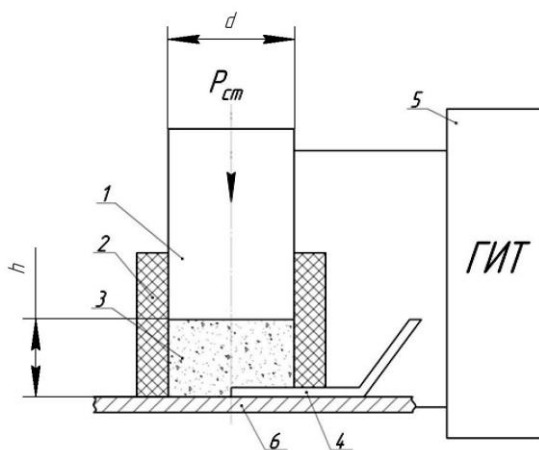


Рис. 2. Устройство для получения соединений разнородных электропроводных материалов

электроимпульсной сваркой-прессованием (ЭИСП):

1 – электрод пуансон; 2 – диэлектрическая матрица; 3 – порошок; 4 – проволока; 5 – генератор импульсных токов (ГИТ); 6 – металлическая пластина;  $P_{см}$  – статическая нагрузка;  $d$  – диаметр электрода;  $h$  – высота засыпки порошка

#### ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ КОНСОЛИДАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ С ИНДУКЦИОННО – ДИНАМИЧЕСКИМ НАГРУЖЕНИЕМ

Авторами статьи было предложено так же использовать электроимпульсную консолидацию порошковых материалов с индукционно – динамическим нагружением [10].

Суть этого способа заключается в воздействии на порошок коротким высоковольтным высокочастотным импульсом тока и механического давления в виде электромагнитного динамического нагружения. Принципиальным отличием такого способа является использование индукционно – динамического привода (ИДП), включенного в цепь с пуансоном-электродом и порошком, вследствие чего появляется возможность одновременно производить прессование и спекание материала, используя один генератор импульсных токов с синхронизацией механического и теплового воздействия на порошок [11].

Схема устройства приведена на рис. 3. Порошковый материал 1 помещается в матрицу 2 из неэлектропроводного материала. Электрод – пуансон 3 передают давление на порошковую заготовку 1 и одновременно служат токоподводами от генератора импульсных токов (ГИТ) к прессуемому порошку [12].

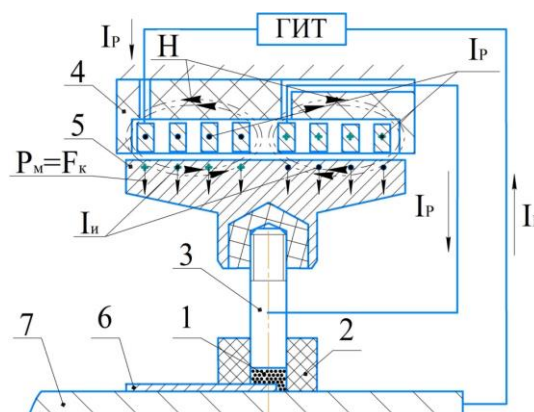


Рис. 3. Принципиальная схема процесса ЭИСП с ИДП:

1 – порошок; 2 – диэлектрическая матрица; 3 – пуансон-электрод; 4 – индуктор; 5 – толкатель; 6 – проволока; 7 – пластина;  $I_p$  – ток разряда;  $I_{и}$  – ток индуцированный;  $H$  – магнитный поток;  $P_m$  – магнитное давление;  $F_k$  – ковочное усилие

При разряде ГИТ высокочастотный ток разряда  $I_p$  протекает через индуктор 4, электрод-пуансон 3 и пластину 7. Таким образом, осуществляется тепловое воздействие на порошок 1. В рабочей зоне индуктора 4 образуется переменное магнитное поле  $H$ , оно наводит в толкателе 5 индуцированные токи  $I_{и}$ . Взаимодействие  $I_{и}$  с магнитным потоком  $H$  приводит к возникновению электромагнитных сил – магнитному давлению  $P_m$ , которое преобразуется в механическое ковочное усилие  $F_k$ , которое уплотняет порошковую композицию и способствует процессу прессования и сварки.

Импульс тока плотностью порядка  $10^4$  А/см<sup>2</sup>, проходящий через электрод-пуансон и порошок, интенсивно разогревает только порошковый материал без существенного разогрева пуансона. Это обусловлено тем, что удельное электросопротивление в зоне контактов частиц порошкового материала значительно превышает удельное электросопротивление в зоне контакта пуансон – порошок. Высота засыпки порошка в основном зависит от грануляции и химического состава и для конкретных типов порошков остается постоянной [13-15]. Импульсный нагрев с индукционно – динамическим приводом позволяет получать изделия с пористостью материала 5-10% [15-16].

Синхронизация механического и теплового воздействия иллюстрируется на рис. 4 зависимостями тока разряда и магнитного давления ИДП от времени на фоне изменения напряжения на емкостном накопителе ГИТ и перемещения электрода-пуансона  $S$ .

Амплитуда магнитного давления составила порядка  $500 \cdot 10^6$  Н/мм<sup>2</sup>, частота тока 5 кГц, время осуществления процесса 180-10-6 с [15, 17, 18].

Напряжение и ток разряда являются затухающими гармоническими колебаниями. Совпадение периода разо-

грева током с действием магнитного давления является следствием последовательного подключения индукционно – динамического привода (ИДП) и электрода к источнику энергии [15, 19-22].

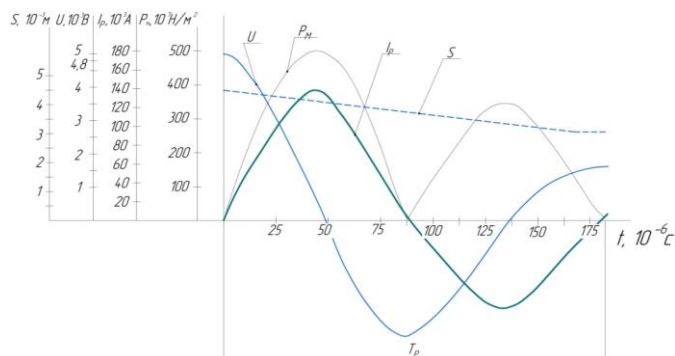


Рис.4. Взаимосвязь параметров процесса ЭИСП с ИДП:  $U$  – напряжение;  $P_m$  – магнитное давление;  $I_p$  – ток разряда;  $T_p$  – период разряда тока;  $S$  – перемещение электрода-пуансона

Тепловое и силовое воздействие осуществляется за счет энергии, накопленной в ГИТ с емкостью батарей конденсаторов  $C$ . Без учета потерь на токоподводах, сумма теплового и силового воздействия и суммарная накопленная энергия  $W$  в данном устройстве описывается уравнением (1):

$$W = \frac{CU^2}{2} = UI_p T_p + \frac{\mu H^2}{2}, \quad (1)$$

где  $C$  – емкость накопителя;  $U$  – напряжение заряда батарей конденсаторов;  $I_p$  – ток разряда;  $T_p$  – период разряда тока;  $\mu$  – магнитная постоянная;  $H$  – напряженность магнитного поля.

На рис. 5 представлен экспериментальный образец, сваренный ЭИСП с ИДП, который был испытан усилием на сдвиг от величины вводимой энергии.

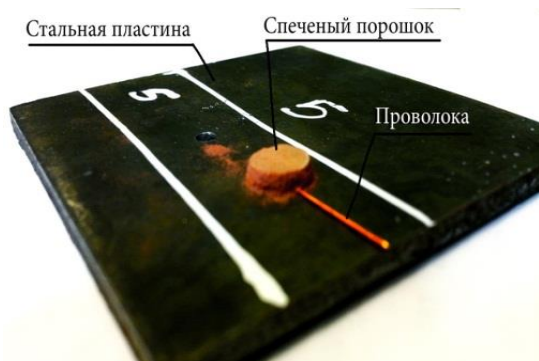


Рис. 5. Экспериментальный образец соединения медной проволоки со стальной пластиной с помощью медного порошка

Зависимости усилия на сдвиг приведены на рис. 6. Соединения, полученные ЭИСП с ИДП, обладают большей механической прочностью по сравнению ЭИСП со статическим давлением на 15-20%. В диапазоне энергии 2,8-4,8 кДж образуются соединения неудовлетворительного качества, это связано с короткой продолжительностью теплового эффекта. А в диапазоне энергии 5,5-7,2 кДж прояв-

ляются выплески расплавленных частиц порошка, которые ухудшают качество соединений. В диапазоне энергии 4,8-5,5 кДж, между спеченным порошком и поверхностью монокристаллического металла образуется соединение с максимальной величиной прочности  $R_{сд} = 200H$ .

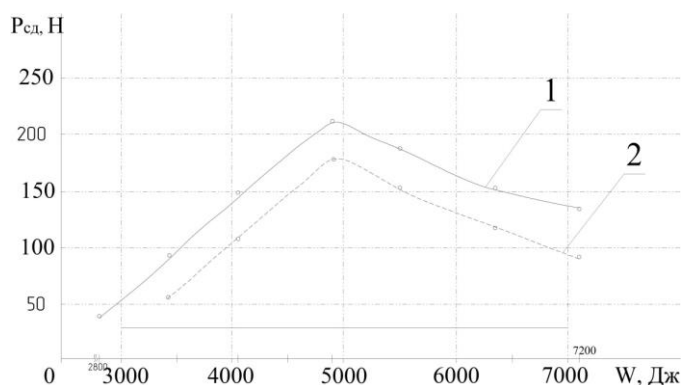


Рис. 6. Зависимость усилия на сдвиг  $R_{сд}$  от величины энергии накопителя: 1 – с применением ИДП; 2 – со статическим давлением

Методом ЭИСП с ИДП были получены соединения разнородных материалов. В табл. 1 приведены режимы получения качественных соединений различных материалов с медной проволокой марки М1к диаметром 1,2 мм с использованием различных порошков. Аналогичные параметры использовались и при ЭИСП со статической нагрузкой (диаметр матрицы, электрода-пуансона и высота засыпки порошка).

Таблица 1

Энергия (кДж) необходимая для получения качественного соединения различных материалов

Порошок	Материал пластины				
	Медь МН 95-5	Алюминий АД1	Сталь ВСт3сп	Латунь Л95	Сталь Р18
Медный ПМС-К	3	3,5	5	4	4,5
Алюминиевый ПА-1	3	3	3,5	3,75	4,5
Никелевый ПНК – УТ4	3,5	3,5	3,5	4	4,5

На рис. 7 представлены микрошлифы и макрошлиф соединений различных материалов с медной проволокой М1к диаметром 1,2 мм.

Исследования микрошлифов показывают, что между порошковой прессовкой и монокристаллическим металлом видна четкая граница раздела, в которой не обнаружены интерметаллиды и другие включения, что свидетельствует о формировании соединения в твердой фазе. На макрошлифе видно, что проволока имеет деформированную овальную форму, это результат ковочного усилия  $F_k$  индукционно-динамического привода.

Технология получения соединения разнородных материалов с использованием импульсного тока, обеспечила качественное спекание порошка с одновременным образованием сварки между порошком и поверхностью монокристаллических металлов.

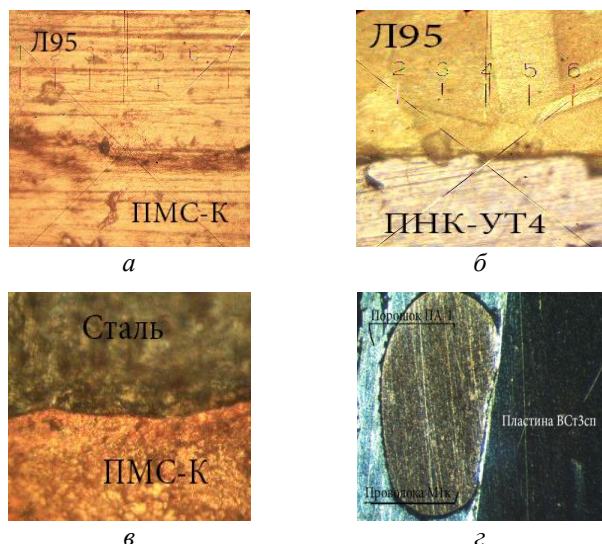


Рис. 7. Микрошлифы (а, б, в)  $\times 485$ , макрошлиф  $\times 20$  (г): а – соединение медного порошка марки ПМС-К с латунной пластиной марки Л95; б – соединение никелевого порошка марки ПНК-УТ4 и латунной пластины марки Л95; в – соединение медного порошка марки ПМС-К и стальной пластины марки ВСтЗсп; г – соединение алюминиевого порошка марки ПА-1 и стальной пластины ВСтЗсп с медной проволокой М1к

#### ВЫВОДЫ

Соединение разнородных монолитных материалов можно осуществлять, используя в качестве связующего звена порошковую композицию, полученную электроимпульсным прессованием. Это позволяет, по сравнению с другими процессами, повысить производительность консолидации, обеспечивая сохранение заранее организованной структуры соединяемых материалов. Созданы устройства, обеспечивающие разогрев зоны соединения импульсными токами со статическим и ударным механическим воздействием. Синхронизация теплого и индукционно-динамического воздействия осуществляется последовательным подключением элементов разогрева и магнитного молота к генератору импульсных токов.

Установлено, что качество соединений, полученных электроимпульсным прессованием-сваркой с импульсной нагрузкой выше, чем при использовании статического воздействия.

Получены соединения черных и цветных материалов методом ЭИСП в различном сочетании. Приводятся выводы по работе, рекомендации по использованию полученных результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лысак В.И. Прессование порошков взрывом: монография. / В.И. Лысак, А.В. Крохалев. – М.: Машиностроение, 2015. – 252 с.
2. СТО Газпром 2-2.2-136-2007 «Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов, часть 1». – М.: Изд-во ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - ВНИИГАЗ», 2007.
3. Баранов Ю.В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы. / Ю.В. Баранов, О.А. Троицкий. – М.: Мин. обр. РФ, ИМАШ им. Благонравова, МГИУ, 2001. – 843 с.

4. Белявин К.Е. Моделирование процесса электроимпульсного спекания металлических порошков. / К.Е. Белявин, Д.В. Минько // Инженерно-физический журнал. – 2004. – Т. 77, №3. – С. 136-143.

5. Анисимов А.Г. Исследование возможности электроимпульсного спекания наноструктурных порошковых материалов. / А.Г. Анисимов, В.И. Мали // ФГВ. – 2010. – Т. 46, №2. – С. 135-139.

6. Grigoryev E.G. Electric Current Pulse Welding of Titanium with 18-10 Stainless Steel / E.G. Grigoryev, V.N. Bazanov // Advanced Materials Research. – 2009. – Vol. 83-86. – P. 1251-1253. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.83-86.1251

7. Grigoryev E.G. High voltage electric pulse welding of titanium with stainless steel // Machines, technologies, materials. – 2011. – Vol. 8. – P. 8-10.

8. Grigoryev E.G. Thermal processes during high-voltage electric discharge consolidation of powder materials / E.G. Grigoryev, E.A. Olevsky // Scripta Materialia. – 2012. – Vol. 66. – P. 662-665. DOI: 10.1016/j.scriptamat.2012.01.035

9. Нескоромный С.В., Стрижаков Е.Л., Агеев С.О., Перлов Д.С., Рачков М.А., Лемешев С.В. Способ получения соединений разнородных электропроводных материалов и устройство для его осуществления // Патент России №2551329. 2015. Бюл. №14.

10. Нескоромный С.В., Стрижаков Е.Л., Меркулов Р.В. Устройство для ударной конденсаторной сварки с магнитно-импульсным приводом // Патент России №96515. 2010.

11. Стрижаков Е.Л., Нескоромный С.В., Рачков М.А. Устройство для электроимпульсного спекания // Патент России №136754. 2014. Бюл. №2.

12. Нескоромный С.В., Стрижаков Е.Л. Устройство для ударной конденсаторной сварки стержневых деталей с плоским основанием // Патент России №70839. 2008.

13. Strigakov E.L. Technological features of obtaining of compound powder parts with usage innovative P/M processes for high performance metals -vacuum – thermal magneto – pulse pressing / E.L. Strigakov, A.Yu. Kem // 16th International PLANSEE Seminar. – Austria: Reutte/Tirol, 2005. – Vol. 4, Is 14. – P. 287-293.

14. Strizhakov E.L. Development of discharge-pulsed equipment for applied studies of magnetic-pulsed welding processes / E.L. Strizhakov, S.V. Neskormomny // Welding International. – 2016. – Vol. 30, Is. 10. – P. 813-816. DOI:10.1080/09507116.2016.1148409

15. Разрядно-импульсное прессование композиционных материалов / С.В. Лемешев, С.В. Нескоромный, Е.Л. Стрижаков, С.О. Агеев // Вестник донского государственного технического университета. – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 76-81. DOI: 10.12737/16068

16. Минько Д.В. Импульсные электрофизические методы получения композиционных материалов и модифицированных структур / Д.В. Минько, К.В. Беляев, В.К. Шелег // Инновации в машиностроении (инмаш-2015): сборник трудов VII Международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 337-342.

17. Falcon E. Electrical properties of granular matter: From "Branly effect" to intermittency / E. Falcon, B. Castaing // Powders & Grains. – 2005. – P. 323-327.

18. Юсупов Р.Ю. Методы и техника экспериментальных исследований быстропротекающих процессов МИОМ / Р.Ю. Юсупов, А.П. Попов // Магнитно-импульсная обработка материалов. Пути совершенствования и развития: труды Междунар. науч.-техн. конф. МИОМ-2007. – Самара, 2007. – С. 260-270.

19. Медведев Ю.Ю. Формирование порошкового материала при электропластическом уплотнении: автореферат дисс. канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2003. – 18 с.

20. Анисимов А.Г. Исследование возможности электроимпульсного спекания наноструктурных порошковых

материалов / А.Г. Анисимов, В.И. Мали // ФГВ. – 2010. – Т. 46, № 2. – С. 135-139.

21. Schütte P. Electro Discharge Sintering as a process for rapid compaction in PM-Technology / P. Schütte, J. Garcia // Proc. EURO PM Copenhagen. – 2009. – Vol. 3. – P. 91-99.

22. Olevsky E.A. Consolidation enhancement in spark-plasma sintering: Impact of high heating rates / E.A. Olevsky, S. Kandukuri // Journal of Applied Physics. – 2007. – Vol. 102, Is. 11. – 114913. DOI: 10.1063/1.2822189

DOI: 10.24892/RIJE/20200105

## Obtaining Joints of Dissimilar Materials under Electric-Impulse Welding – Pressing

Vinogradov V.G., Strizhakov E. L., Nescoromniy S.V.

Don State Technical University,  
Rostov-on-don, Russian Federation

[vbif001@yandex.ru](mailto:vbif001@yandex.ru), [strizhakov@inbox.ru](mailto:strizhakov@inbox.ru), [nescoromniy@mail.ru](mailto:nescoromniy@mail.ru)

**Abstract. Annotation.** A study of the process of high-speed consolidation of powder materials with the simultaneous formation of a welded joint with the surface of the metal base is presented. Thermal and power effects are used as a result of passing the current pulse through the powder composition and the inductor. The electric circuit of the gradual connection of the processing zone and the magnetic hammer, consisting of a flat inductor and a pusher, is proposed.

The electric impulse welding-pressing device (EIWP) is connected to a impulse current generator (ICG) with a capacitive energy storage. Impulse currents of 200 - 300 kA allow to obtain Joule heat, warming up the composition to pre-melting temperatures (0,6-0,8)  $T_m$ , and magnetic pressure of  $500 \cdot 10^6$  N/mm<sup>2</sup> during the process (100-200)  $\cdot 10^{-6}$  s. The equipment with energy consumption up to 10 kJ with a discharge frequency of 5 kHz is used.

The study of the connection zone showed that the welding of the composition with monolithic materials occurs in the solid phase, new structures are not formed.

The implementation of a monolithic material in the form of a wire into the pressing zone allows to obtain a connection of dissimilar materials keeping the original structure. In this case, the powder composition is a connecting element. Thus, copper compounds with steel, aluminum, brass and other materials are obtained. The dependences of the strength of compounds on the discharge energy of ICG are obtained.

**Keywords:** powder composition, inductor, magnetic hammer, impulse currents generator, energy consumption, discharge current frequency.

### REFERENCES

1. Lysak V.I., Krokhaliev A.V. *Pressovanie poroshkov vzryvom: monografiya* [Pressing powders by explosion: monograph], Moscow, Mechanical Engineering, 2015, 252 p. (in Russ.)

2. STO Gazprom 2-2.2-136-2007 *Instruktsiya po tekhnologiyam svarki pri stroitel'stve i remonte promyslovykh i magistral'nykh gazoprovodov, chast' 1* ["Instruction on welding technologies in the construction and repair of field and main gas pipelines, part 1"], Moscow, Publishing House LLC

Scientific Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies - VNIIGAZ, 2007. (in Russ.)

3. Baranov Yu.V., Troitskiy O.A. *Fizicheskie osnovy elektroimpul'snoy i elektroplasticheskoy obrabotki i novye materialy* [Physical foundations of electropulse and electroplastic treatments and new materials], Moscow, Min. arr. RF, IMASH named after Blagonravova, MGU, 2001, 843 p. (in Russ.)

4. Belyavin K.E., Minko D.V., Kuznechik O.O. Modeling of the process of electric-discharge sintering of metal powders, *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2004, vol. 77, no. 3, pp. 628-637. DOI: 10.1023/b:joep.0000036510.38833.05

5. Anisimov A.G. Mali V.I. Possibility of electric-pulse sintering of powder nanostructural composites, *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2010, vol. 46, no. 2, pp. 237-241. DOI: 10.1007/s10573-010-0035-3

6. Grigoryev E.G., Bazanov V.N. Electric Current Pulse Welding of Titanium with 18-10 Stainless Steel, *Advanced Materials Research*, 2009, vol. 83-86, pp. 1251-1253. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.83-86.1251

7. Grigoryev E.G. High voltage electric pulse welding of titanium with stainless steel, *Machines, technologies, materials*, 2011, vol. 8, pp. 8-10.

8. Grigoryev E.G., Olevsky E.A. Thermal processes during high-voltage electric discharge consolidation of powder materials, *Scripta Materialia*, 2012, vol. 66, pp. 662-665. DOI: 10.1016/j.scriptamat.2012.01.035

9. Nescoromny S.V., Strizhakov E.L., Ageev S.O., Perlov D.S., Arsunoiev M.M., Lemeshev S.V. *Sposob polucheniya soedineniy raznorodnykh elektroprovodnykh materialov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method for obtaining of connections of diverse conducting materials and device for its implementation], Patent of Russia no. 2551329, 2015, Bull. No. 14. (in Russ.)

10. Nescoromny S.V., Strizhakov E.L., Merkulov R.V. *Ustroystvo dlya udarnoy kondensatornoy svarki s magnitno-impul'snym privodom* [A device for shock condenser welding with a magnetic pulse drive], Russian Patent no. 96515, 2010. (in Russ.)

11. Strizhakov E.L., Neskromny S.V., Rachkov M.A. *Ustroystvo dlya elektroimpul'snogo spekaniya* [Device for electropulse sintering], Patent of Russia no. 136754, 2014, Bull. No. 2. (in Russ.)

12. Neskromny S.V., Strizhakov E.L. *Ustroystvo dlya udarnoy kondensatornoy svarki sterzhnevnykh detaley s ploskim osnovaniem* [Device for shock condenser welding of rod parts with a flat base], Russian Patent no. 70839, 2008. (in Russ.)

13. Strigakov E.L., Kem A.Yu. Technological features of obtaining of compound powder parts with usage innovative P/M processes for high performance metals -vacuum – thermal magneto – pulse pressing, *16th International PLANSEE Seminar*, Austria, Reutte/Tirol, 2005, vol. 4, is 14, pp. 287-293.

14. Strizhakov E.L., Neskromny S.V. Development of discharge-pulsed equipment for applied studies of magnetic-pulsed welding processes, *Welding International*, 2016, vol. 30, is. 10, pp. 813-816. DOI:10.1080/09507116.2016.1148409

15. Lemeshev S.V., Neskromny S.V., Strizhakov E.L., Ageev S.O. Discharge-pulse compression of composite materials [Razryadno-impul'snoe pressovanie kompozitsionnykh materialov], *Vestnik donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Don State Technical University]*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 76-81. (in Russ.)

16. Minko D.V., Belyaev K.V., Sheleg V.K. Pulse electro-physical methods of CREATING THE composite materials and modified structures [Impul'snye elektrofizicheskie metody polucheniya kompozitsionnykh materialov i modifitsirovannykh struktur], *Trudy "Innovatsii v mashinostroenii (in-*

*mash-2015)" [Proc. "Innovations in mechanical engineering (inmash-2015)"]*, 2015, pp. 337-342. (in Russ.)

17. Falcon E., Castaing B. Electrical properties of granular matter: From "Branly effect" to intermittency, *Powders & Grains*, 2005, pp. 323-327.

18. Yusupov R.Yu., Popov A.P. Methods and technique of experimental studies of fast processes MIOM [Metody i tekhnika eksperimental'nykh issledovaniy bystroprotekeyushchikh protsessov MIOM], *Trudy "Magnitno-impul'snaya obrabotka materialov. Puti sovershenstvovaniya i razvitiya [Proc. "Magnetic pulse processing of materials. Ways of improvement and development]*, 2007, Samara, 2007, pp. 260-270. (in Russ.)

19. Medvedev Yu.Yu. *Formirovanie poroshkovogo materiala pri elektroplasticheskom uplotnenii: avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [The formation of powder material during electroplastic compaction: abstract diss. cand. tech. sciences], Novocherkassk, 2003, 18 p. (in Russ.)

20. Anisimov A.G., Mali V.I. Possibility of electric-pulse sintering of powder nanostructural composites, *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2010, vol. 46, no. 2, pp. 237-241. DOI: 10.1007/s10573-010-0035-3

21. Schütte P., Garcia J. Electro Discharge Sintering as a process for rapid compaction in PM-Technology, *Proc. EURO PM Copenhagen*, 2009, vol. 3, pp. 91-99.

22. Olevsky E.A., Kandukuri S. Consolidation enhancement in spark-plasma sintering: Impact of high heating rates, *Journal of Applied Physics*, 2007, vol. 102, is. 11, 114913. DOI: 10.1063/1.2822189

#### Библиографическое описание статьи

Виноградов В.Г. Получение соединений разнородных материалов электроимпульсной сваркой – прессованием / В.Г. Виноградов, Е.Л. Стрижаков, С.В. Нескоромный // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2020. – Т.8, №1. – С. 26-31. DOI: 10.24892/RIJE/20200105

#### Reference to article

Vinogradov V.G., Strizhakov E. L., Neskromny S.V. Obtaining joints of dissimilar materials under electric-impulse welding – pressing, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2020, vol.8, no.1, pp. 26-31. DOI:10.24892/RIJE/20200105