

## Краткие сообщения Brief reports

Краткое сообщение  
УДК 621.791  
DOI: 10.14529/met240208

### ПОЛУЧЕНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО СОЕДИНЕНИЯ Fe<sub>3</sub>Al МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

**Э.А. Хасанова**, [khasanovaea@susu.ru](mailto:khasanovaea@susu.ru), <https://orcid.org/0009-0001-7661-8988>  
**И.А. Щербаков**, [shcherbakovia@susu.ru](mailto:shcherbakovia@susu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2317-7805>  
**И.И. Сулейманова**, [suleimanovaii@susu.ru](mailto:suleimanovaii@susu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3821-6782>

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

**Аннотация.** В настоящее время находят применение аддитивные технологии послойного электродугового выращивания. Основной вектор развития данного направления связан с использованием алюминиевых сплавов. В данной работе опробована экспериментальная методика получения интерметаллидного соединения Fe<sub>3</sub>Al методом послойного электродугового выращивания с одно-временной подачей в зону горения электрической дуги двух разнородных сварочных проволок сплошного сечения диаметрами 1,2 мм. Проанализированы способы получения интерметаллических соединений и их недостатки. Определены режимы электродугового выращивания. Результатом эксперимента стало получение сплава на основе железа с содержанием алюминия 13–16 %. Проведена термическая обработка выращенных образцов, после которой получен интерметаллид Fe<sub>3</sub>Al.

**Ключевые слова:** электродуговое выращивание, интерметаллид

**Для цитирования:** Хасанова Э.А., Щербаков И.А., Сулейманова И.И. Получение интерметаллидного соединения Fe<sub>3</sub>Al методом послойного электродугового выращивания // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2024. Т. 24, № 2. С. 70–72. DOI: 10.14529/met240208

Brief report  
DOI: 10.14529/met240208

### PRODUCTION OF INTERMETALLIDE COMPOUND Fe<sub>3</sub>Al BY LAYER-BY-LAYER ELECTRIC ARC GROWTH METHOD

**E.A. Khasanova**, [khasanovaea@susu.ru](mailto:khasanovaea@susu.ru), <https://orcid.org/0009-0001-7661-8988>  
**I.A. Shcherbakov**, [shcherbakovia@susu.ru](mailto:shcherbakovia@susu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2317-7805>  
**I.I. Suleymanova**, [suleimanovaii@susu.ru](mailto:suleimanovaii@susu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3821-6782>

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** Currently, additive technologies for layer-by-layer electric arc growth are being used. The main vector of development in this area is associated with the use of aluminum alloys. In this work, an experimental technique was tested for producing the Fe<sub>3</sub>Al intermetallic compound by layer-by-layer electric arc growth with the simultaneous supply of two dissimilar solid-section welding wires with diameters of 1.2 mm into the electric arc combustion zone. Methods for producing intermetallic compounds and their disadvantages are analyzed. Electric arc growing modes have been determined. The result of the experiment was the production of an iron-based alloy with an aluminum content of 13–16 %. The grown samples were subjected to heat treatment, after which the Fe<sub>3</sub>Al intermetallic compound was obtained.

**Keywords:** electric arc growing, intermetallic compound

**For citation:** Khasanova E.A., Shcherbakov I.A., Suleymanova I.I. Production of intermetallide compound Fe<sub>3</sub>Al by layer-by-layer electric arc growth method. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2024;24(2):70–72. (In Russ.) DOI: 10.14529/met240208

Алюминиды, а именно интерметаллиды Fe<sub>3</sub>Al, представляют большой интерес, так как сплавы на их основе обладают высокими прочностными и жаропрочными характеристиками при рабочих температурах, высоким сопротивлением окислению [1]. Алюминиды могут использоваться в технике в качестве защитных покрытий для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа, при повышенных температурах, в агрессивных средах [2–4]. В работах [5, 6] были исследованы процессы аргонодуговой наплавки сплавов системы «железо – алюминий», подтверждено наличие интерметаллической фазы Fe<sub>3</sub>Al, исследовано влияние процентного содержания алюминия и режимов наплавки на свойства соединения. В настоящее время находят применение аддитивные технологии послойного электродугового выращивания [7]. Основной вектор развития данного направления связан с использованием алюминиевых сплавов.

Целью данной работы является получение интерметаллидного соединения методом послойного электродугового выращивания с подачей разнородных проволок на основе Fe и Al.

Для получения интерметаллидного соединения Fe<sub>3</sub>Al использовались сварочные присадочные проволоки: Св-08а на основе железа и 4043 (АМг5) на основе алюминия, диаметром 1,2 мм каждая. Расчетным путем определено, что при равных диаметрах проволок необходимо одновременно подавать в сварочную электрическую дугу 2 проволоки на основе железа и одну проволоку на основе алюминия, при этом массовая доля алюминия, необходимая для образования интерметаллида, составляет 14,63 %.

Для электродугового выращивания образцов применялась ТIG-наплавка, защитный газ аргон. Три сварочные проволоки подавались пакетом одновременно через направляющую трубку, подведенную напрямую к электрической дуге, с целью предотвращения расхождения их от тепловой деформации. Наплавленные валики накладывались после остывания предыдущего слоя. В процессе электродугового выращивания при использовании постоянного тока наблюдалось разбрызгивание металла. При смене тока на переменный дуга становилась управляемой, а формирование валика выращенного образца – стабильным, без разбрызгивания.

Для оценки структуры металла полученных образцов и определения химического состава были проведены исследования на оптическом микроскопе и электронном сканирующем микроскопе JEOL JSM-6460 LV. По результатам химического анализа трех выращенных образцов обнаружено, что процентное содержание Al варьируется в пределах 13–16 масс. %, что соответствует диапозону образования интерметаллида. Получена однородная структура твердого раствора железа с алюминием без внутренних дефектов, пор и трещин. Анализ результатов электронной микроскопии не показал наличия интерметаллической фазы Fe<sub>3</sub>Al, что объясняется большой скоростью протекания металлургических процессов при электродуговом выращивании при отсутствии подогрева.

Для увеличения времени нахождения образцов в интервале температуры образования интерметаллида и уменьшения скорости охлаждения была проведена термическая обработка выращенных образцов на следующих режимах: 550 °С, выдержка 2 часа, охлаждение в печи. Анализ результатов электронной микроскопии после термической обработки показал наличие интерметаллидной фазы Fe<sub>3</sub>Al по границам зерен.

**Выводы**

1. Метод послойного электродугового выращивания подходит для получения интерметаллического соединения совместно с термообработкой.
2. Перспективным направлением исследований является получение слоистых композитных материалов, состоящих из слоев сплава алюминия и интерметаллида. Необходимо будет также оценить влияние термической обработки на различные слои композитного материала.

#### Список литературы

1. Поварова К.Б., Банных О.А. Принципы создания конструкционных сплавов на основе интерметаллидов. Часть 1 // *Материаловедение*. 1999. № 2. С. 27–33.
2. Сплавы на основе алюминидов никеля / В.П. Бунтушкин, Е.Н. Каблов, О.А. Базылева, Г.И. Морозова // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1999. № 1. С. 32–34.

3. Верин. А.С. Интерметаллид  $Ni_3Al$  как основа жаропрочного сплава // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1997. № 5. С. 26–28.
4. *Алюминиевые сплавы. Металловедение алюминия и его сплавов: справочное руководство* / А.И. Беляев [и др.]. М.: Металлургия, 1971. 352 с.
5. Ковтунов А.И., Мямин С.В. *Интерметаллидные сплавы: электрон. учеб. пособие*. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2018. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
6. Зайцев П.И. *Аргонодуговая наплавка интерметаллида  $Fe_3Al$  с подачей разнородных проволок на основе Fe и Al: выпуск. квалификац. работа бакалавра*. СПб., 2020.
7. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests / D. Ding, Z. Pan, D. Cuiuri, H. Li // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015. Vol. 81. P. 465–481. DOI: 10.1007/S00170-015-7077-3

### References

1. Povarova K.B., Bannykh O.A. [Principles of creating structural alloys based on intermetallic compounds. Part 1]. *Materialovedenie*. 1999;(2):27–33. (In Russ.)
2. Buntushkin V.P., Kablov E.N., Bazyleva O.A., Morozova G.I. [Alloys based on nickel aluminides]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metal science and heat treatment*. 1999;(1):32–34. (In Russ.)
3. Verin. A.S. [Intermetallic  $Ni_3Al$  as the basis of a heat-resistant alloy]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metal science and heat treatment*. 1997;(5):26–28. (In Russ.)
4. Belyaev A.I. et al. *Alyuminiyevye splavy. Metallovedenie alyuminiya i ego splavov: spravochnoe rukovodstvo* [Aluminum alloys. Metallurgy of Aluminum and Its Alloys: A Reference Guide]. Moscow: Metallurgiya; 1971. 352 p. (In Russ.)
5. Kovtunov A.I., Myamin S.V. *Intermetallidnye splavy: elektron. ucheb. posobie* [Intermetallic alloys: electronic textbook]. Tolyatti: Tolyatti State University; 2018. SD-ROM. (In Russ.)
6. Zaytsev P.I. *Argonodugovaya naplavka intermetallida  $Fe_3Al$  s podachey raznorodnykh provolok na osnove Fe i Al: vypusknyaya kvalifikatsionnaya rabota bakalavra* [Argon-arc surfacing of  $Fe_3Al$  intermetallic compound with feeding of dissimilar wires based on Fe and Al: bachelor's final qualifying thesis]. St. Petersburg; 2020. (In Russ.)
7. Ding D., Pan Z., Cuiuri D., Li H. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015;81:465–481. DOI: 10.1007/S00170-015-7077-3

### Информация об авторах

**Хасанова Эмилия Аузаровна**, магистрант кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; khasanovaea@susu.ru.

**Щербakov Игорь Александрович**, аспирант кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; shcherbakovia@susu.ru.

**Сулейманова Ильсия Ишмуратовна**, аспирант кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; suleimanovaii@susu.ru.

### Information about the authors

**Emiliya A. Khasanova**, Master's student of the Department of Equipment and Welding Technology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; khasanovaea@susu.ru.

**Igor A. Shcherbakov**, Postgraduate student of the Department of Equipment and Welding Technology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; shcherbakovia@susu.ru.

**Ilsia I. Suleymanova**, Postgraduate student of the Department of Equipment and Welding Technology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; suleimanovaii@susu.ru.

*Статья поступила в редакцию 20.04.2024*

*The article was submitted 20.04.2024*