

Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Мямин С.В. Особенности взаимодействия жидкого алюминия с титаном при формировании композиционных материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2020. – Т. 22, № 4. – С. 42–47. DOI: 10.15593/2224-9877/2020.4.06

Kovtunov A.I., Khokhlov Yu.Yu., Myamin S.V. Features of interaction between liquid aluminum and titanium in the formation of composite materials. *Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science*, 2020, vol. 22, no. 4, pp. 42–47. DOI: 10.15593/2224-9877/2020.2.06

---

**ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение**  
**Т. 22, № 4, 2020**  
**Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science**  
<http://vestnik.pstu.ru/mm/about/inf/>

---

DOI: 10.15593/2224-9877/2020.4.06  
УДК 669.018.672

**А.И. Ковтунов, Ю.Ю. Хохлов, С.В. Мямин**

Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия

**ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИДКОГО АЛЮМИНИЯ С ТИТАНОМ**  
**ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Композиционные материалы титан–алюминий и титан–пеноалюминий находят все более широкое применение в промышленности. При жидкофазных способах в результате реакционной диффузии титана и алюминия на границе фаз композита формируется переходный интерметаллидный слой, толщина и состав которого определяются температурой фаз в процессе формирования композиционного материала, временем их высокотемпературного взаимодействия и их химическим составом. Механические и эксплуатационные свойства титана и композиционного материала во многом будут определяться параметрами, составом и свойствами этого переходного слоя. Ввиду этого целью работы является исследование процессов взаимодействия титана с жидким алюминием и влияния этих процессов на его свойства в условиях формирования композиционных материалов.

Для реализации поставленной цели проведены экспериментальные исследования процессов формирования интерметаллидного слоя на титане при жидкофазном алитировании титана. Температура алитирования в ходе экспериментов варьировалась в пределах 750–950 °С, а время алитирования – в пределах 3–60 с.

Проведенные металлографические исследования и микрорентгеноспектральный анализ алитированных титановых образцов позволили установить влияние температуры и времени выдержки титановых образцов на толщину, химический и фазовый состав переходного интерметаллидного слоя. Проведенные механические испытания показали влияние температуры алюминиевого расплава при взаимодействии с титаном на прочностные свойства биметалла титан–алюминий.

**Ключевые слова:** титан, композиционный материал, алюминиевый расплав, алитирование, интерметаллидная фаза, переходный слой, прочность при растяжении, температура расплава, диффузия, химический состав.

**A.I. Kovtunov, Yu.Yu. Khokhlov, S.V. Myamin**

Togliatti State University, Tolyatti, Russian Federation

**FEATURES OF INTERACTION BETWEEN LIQUID ALUMINUM AND TITANIUM**  
**IN THE FORMATION OF COMPOSITE MATERIALS**

Composite materials titanium-aluminum and titanium-foam aluminum are increasingly used in industry. Of the number of methods used to obtain composite materials titanium-aluminum and titanium-foam aluminum, the most universal and simple is liquid phase. The essence of the liquid-phase method is the formation of a composite by the interaction of molten aluminum and a solid titanium phase. Methods of forming composite materials are liquid phase. In liquid-phase methods, as a result of the reaction diffusion of titanium and aluminum, a transitional intermetallic layer is formed at the phase boundary of the composite, the thickness and composition of which is determined by the temperature of the phases during the formation of the composite material, the time of their high-temperature interaction, and their chemical composition. The mechanical and operational properties of titanium and composite material will largely be determined by the parameters, composition and properties of this transition layer. Therefore, the aim of the work is to study the processes of interaction of titanium with liquid aluminum and the influence of these processes on its properties under the conditions of formation of composite materials.

To achieve this goal, experimental studies of the formation of an intermetallic layer on titanium during liquid-phase aluminization of titanium were carried out. The alitizing temperature during the experiments varied in the range of 750–950 °C, and the alimitation time was in the range of 3–60 s.

Metallographic studies and X-ray microanalysis of aluminized titanium samples made it possible to establish the effect of temperature and exposure time of titanium samples on the thickness, chemical and phase composition of the intermetallic transition layer. The mechanical tests showed the influence of the temperature of the aluminum melt during interaction with titanium on the strength properties of titanium-aluminum bimetal.

**Keywords:** titanium, composite material, aluminum melt, aluminization, intermetallic phase, transitional layer, tensile strength, melt temperature, diffusion, chemical composition.

## Введение

В последние годы большой интерес представляют разработки в области получения титано-алюминиевых слоистых композиционных материалов (СКМ), в том числе и с пористым алюминиевым слоем [1–4]. Слоистые композиционные материалы титан–алюминий используются в различных отраслях машиностроения в качестве переходных элементов для сварки конструкций из титана и алюминия [5]. Композиционные материалы титан–пеноалюминий могут успешно применяться для изготовления различных поглотителей механической, звуковой, электромагнитной энергии в автомобильной, железнодорожной, аэрокосмической технике, кораблестроении, а также при создании военной техники и амуниции, в строительстве и приборостроении [3, 6–9].

Одним из наиболее универсальных и простых способов формирования слоистых композиционных материалов титан–алюминий и титан–пеноалюминий является жидкофазный [4, 10]. При жидкофазных способах формирования СКМ расплавленный алюминий или алюминиевый сплав взаимодействует с титаном, в результате чего происходит алитирование последнего, сопровождающееся диффузионным насыщением поверхности алюминием и образованием в результате реакционной диффузии переходного слоя интерметаллидов [10, 11]. Для обеспечения адгезионной связи титана и алюминия титан зачастую предварительно покрывают алюминием.

Толщина переходных слоев и их химический состав зависят от температуры жидкофазного процесса, времени контакта титана и алюминиевого расплава и химического состава слоев композиционного материала [10]. Наличие интерметаллидных слоев на поверхности титана, напряженное состояние этих слоев и их свойства определяют механические и эксплуатационные свойства титана и всего композиционного материала [11–13].

Целью работы является исследование процессов взаимодействия титана с жидким алюминием и влияния этих процессов на его свойства в условиях жидкофазного формирования композиционных материалов.

## Методика проведения исследований

Алитирование плоских образцов размером 210×20 мм, толщиной 2 мм из титана марки ВТ1-0 по ГОСТ 22178–76 проводилось в расплаве алюминия марки А7 ГОСТ 11069–01. Температуры алитирования выбирались исходя из условий изготовления композиционного материала титан–алюминий и титан–пеноалюминий, она составляла

750, 850 и 950 °С. Время нахождения титановых заготовок в алюминиевом расплаве составляло 3, 30 и 60 с. Варьирование временными параметрами позволило оценить динамику роста слоя интерметаллида на поверхности титана.

Испытание на статическое растяжение проводилось на образцах типа II по ГОСТ 11701–84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент». Испытание образцов проводили на универсальной разрывной машине WAW 1000.

Микрорентгеноспектральный анализ алюминиевого и переходного слоев проводился на комплексе сканирующего электронного микроскопа LEO 1455 VP (ZEISS) с блоками рентгеновского энергетического спектрометра INCA Energy-300 и рентгеновского волнового спектрометра INCA Wave-500, а также на комплексе, состоящем из автоэмиссионного растрового микроскопа сверхвысокого разрешения Zeiss SUPRA 55VP в комплекте с энергодисперсионным спектрометром Inca Energy 350, волновым спектрометром Inca Wave 500 и системой регистрации и анализа дифракции отраженных электронов HKL EBSD Premium System. Образцы для исследований представляли собой шлифованные поверхности поперечного сечения биметалла.

## Результаты исследований и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что при жидкофазном взаимодействии алюминия с титаном при указанных температурах на поверхности титана формируется алюминиевый слой, а между алюминием и титаном переходный интерметаллидный слой, наличие которого также установлено в работах [1, 14]. Толщина переходного слоя зависит от температуры и времени выдержки титановых образцов в алюминиевом расплаве и составляет не более 6 мкм (рис. 1).

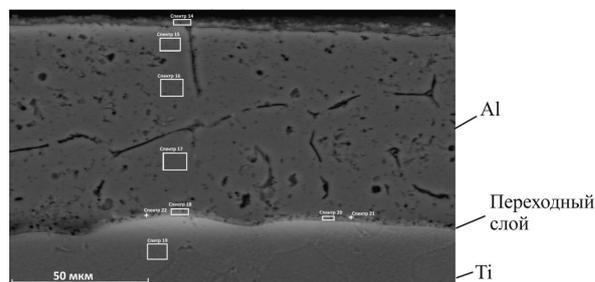


Рис. 1. Структура и химический состав биметалла титан–алюминий при температуре формирования алюминиевого слоя 950 °С и времени выдержки 3 с

При выдержке в течение 3 с на поверхности титана формируется переходный слой толщиной: не более 0,5 мкм при температуре алюминиевого

расплава 750 °С, не более 0,8 мкм при 850 °С и не более 2 мкм при 950 °С. При увеличении времени выдержки до 30–60 с толщина слоя увеличивается в 2–4 раза (рис. 2).

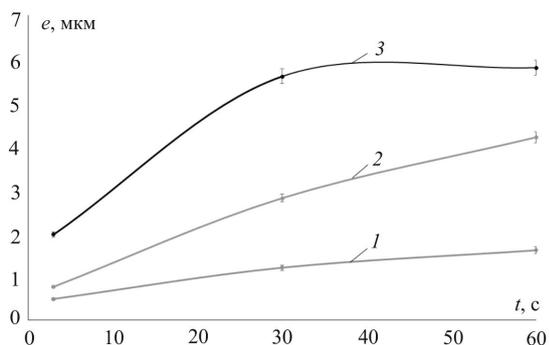


Рис. 2. Зависимость толщины интерметаллидного слоя от времени выдержки титана в алюминиевом расплаве при температуре расплава: 1 – 750 °С; 2 – 850 °С; 3 – 950 °С

На основе полученных экспериментальных данных была определена закономерность роста переходного слоя.

Закон роста интерметаллидного слоя имеет параболический характер [15]:

$$x^2 = Kt,$$

где  $x$  – толщина слоя;  $K$  – коэффициент, пропорциональный коэффициенту диффузии;  $t$  – время нагрева.

Исходя из уравнения Аррениуса,

$$K = K_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right).$$

Величины энергии активации  $Q$  и  $K_0$  определяются по зависимости  $\ln k = f(1/T)$ , построенной по экспериментальным данным (рис. 3).

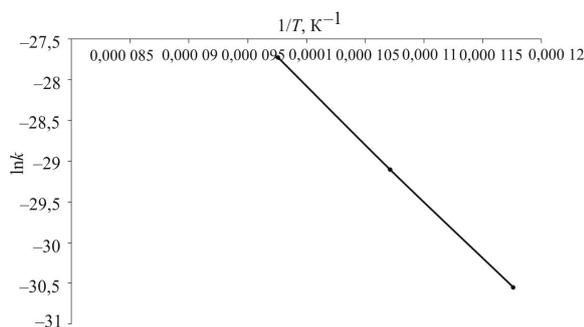


Рис. 3. Зависимость  $\ln k = f(1/T)$  при алитировании при значениях температуры 750–950 °С

Исходя из этого, закон роста интерметаллидного слоя на поверхности титана при значениях температуры алитирования 750–950 °С можно записать следующим образом:

$$x^2 = 1,2 \cdot 10^{-12} \cdot \exp\left(-\frac{144\,420}{RT}\right)t.$$

Микрорентгеноспектральный анализ показал, что переходный слой на границе титана и алюминия содержит 63–65 % алюминия (таблица), что соответствует, исходя из диаграммы состояния, области существования фазы  $TiAl_3$  [16, 17]. В работах [1, 14] указывается на наибольшую термодинамическую вероятность образования интерметаллида  $TiAl_3$  при взаимодействии твердого титана с алюминием при значениях температуры выше температуры плавления алюминия. В процессе жидкофазного взаимодействия алюминия и титана при формировании биметаллов вследствие растворения титана алюминиевый слой насыщается титаном (см. рис. 1, таблицу). Содержание титана в алюминиевом слое изменяется в зависимости от температуры и времени выдержки в расплаве от 0,2 до 2 %, что соответствует предельной растворимости титана в жидком алюминии в исследуемом диапазоне температур [14]. Увеличение температуры и времени выдержки приводит к увеличению содержания титана в алюминиевом слое биметалла. Толщина алюминиевого слоя, формируемого на поверхности титана, также зависит от температуры процесса и времени выдержки (рис. 4). При значениях температуры 750 и 850 °С с увеличением времени выдержки толщина алюминиевого слоя увеличивается. При температуре алюминиевого расплава 950 °С с увеличением времени нахождения образца в алюминиевой ванне толщина слоя уменьшается, что, вероятно, связано со значительным снижением вязкости алюминиевого расплава при увеличении перегрева [18, 19].

#### Химический состав участков биметалла

Название спектра	O	Al	Ti	Сумма
Спектр 14	33,30	66,43	0,27	100,00
Спектр 15		99,60	0,40	100,00
Спектр 16		99,74	0,26	100,00
Спектр 17		99,60	0,40	100,00
Спектр 18		64,19	34,81	100,00
Спектр 19		0,19	99,70	100,00
Спектр 20		65,26	34,74	100,00
Спектр 21		68,48	30,48	100,00
Спектр 22		63,81	36,19	100,00

Титан, в свою очередь, вследствие диффузии алюминия через переходный слой насыщается алюминием (см. рис. 1, таблицу). Содержание алюминия в титане на расстоянии 5–10 мкм от границы переходного слоя в зависимости от температуры и времени процесса изменяется в пределах 0,2–1 % (см. рис. 1, таблицу).

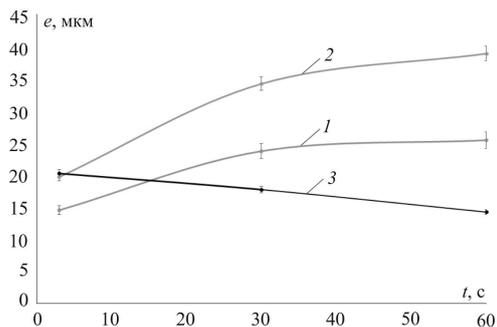


Рис. 4. Зависимость толщины алюминиевого слоя от времени алитирования при температуре расплава: 1 – 750 °С; 2 – 850 °С; 3 – 950 °С

Испытания на статическое растяжение титановых образцов показали, что при повышении температуры алитирования временное сопротивление биметалла снижается (рис. 5), что, вероятно, связано с увеличением толщины алитированного слоя.

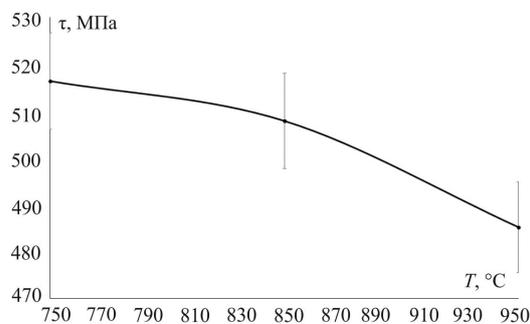


Рис. 5. Зависимость прочности биметалла от температуры алитирования

### Выводы

1. При жидкофазном алитировании на границе титана и алюминия формируется переходный интерметаллидный слой на основе фазы  $TiAl_3$ . Толщина алюминиевого и переходного слоев определяется температурой алитирования и временем выдержки титана в расплаве.

2. Повышение температуры алюминиевого расплава при жидкофазном алитировании титана снижает предел прочности при растяжении биметаллических образцов.

### Список литературы

1. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Шморгун В.Г. Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов. – М.: Metallurgizdat, 2004. – 230 с.
2. Гуревич Л.М., Писарев С.П., Новиков Р.Е. Моделирование поведения титано-алюминиевого композита с интерметаллидными включениями // Известия ВолГТУ. – 2016. – № 2. – С. 25–29.
3. Полькин И.С. Пеноалюминий будущего – пенокомпозит // Технология легких сплавов. – 2006. – № 1–2. – С. 210–211.

4. Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Мямин С.В. Технология формирования слоистых композиционных материалов системы титан–пеноалюминий // Metallurg. – 2015. – № 4. – С. 60–61.

5. Влияние температуры прокатки на предельную деформационную способность титано-алюминиевого композита / Л.М. Гуревич, Ю.П. Трыков, Д.Н. Гурулев, А.Ю. Мотузова, Ю.В. Иванов // Известия ВолГТУ. – 2012. – № 9. – С. 30–33.

6. Бутарович Д.О., Рябов Д.М., Смирнов А.А. Повышение противоминной защищенности бронированной колесной техники при помощи защитных экранов из пористых энергопоглощающих металлов // Вопросы оборонной техники. – 2011. – Сер. 16, № 1–2. – С. 52–57.

7. Условия получения качественного пеноалюминия / А.А. Аксенов, Д.О. Иванов, Ю.Н. Мансуров, Р.К. Шувакин, Е.Д. Ким, В.П. Рева, Д.С. Кадырова // Juvenis Scientia. – 2016. – № 3. – С. 23–26.

8. Романов В.С. Пеноалюминий: Pro et contra // Технология легких сплавов. – 2006. – № 1–2. – С. 212–213.

9. Хохлов М.А., Ищенко Д.А. Конструкционные сверхлегкие пористые металлы // Автоматическая сварка. – 2015. – № 3–4. – С. 60–65.

10. Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Мямин С.В. Влияние кобальта на формирование и прочность сцепления композиционных материалов пеноалюминий–титан // Физика и химия обработки материалов. – 2019. – № 2. – С. 51–58.

11. Даненко В.Ф., Гуревич Л.М. Влияние алитирования на свойства углеродистой стали при высоких температурах // Физика и химия обработки материалов. – 2015. – № 4. – С. 92–99.

12. Гурьев А.В., Кукса Л.В. О роли микронеоднородной деформации в разрушении и формировании пластических свойств двухфазных поликристаллических сплавов // Физика и химия обработки материалов. – 1968. – № 4. – С. 97–104.

13. Кукса Л.В. Микродеформации и механические свойства поликристаллических сплавов при статических, динамических и высокотемпературных испытаниях // Физика металлов и металловедения. – 1997. – Т. 84, № 1. – С. 96–105.

14. Гуревич Л.М. Механизмы структурообразования при взаимодействии титана с расплавом алюминия // Известия ВолГТУ. – 2013. – № 6. – С. 6–13.

15. Сварка разнородных металлов и сплавов / В.Р. Рябов, Д.М. Рабкин, Р.С. Курочко, Л.Г. Стрижевская. – М.: Машиностроение, 1984. – 239 с.

16. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.: Изд-во МИСИС, 2005. – 432 с.

17. Лякишева Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справ.: в 3 т. – М.: Машиностроение, 1996. – Т. 1. – 992 с.

18. О структурных превращениях в жидком алюминии / А.В. Емильонов, Ю.А. Базин, В.М. Замятин, Я.А. Найсыйров // Известия вузов. Черная металлургия. – 1985. – № 5. – С. 28–33.

19. Тепловое воздействие на структурообразование и свойства алюминиевых сплавов / Х. Ри, Э.Х. Ри, С.Н. Химухин, В.Э. Ри, Т.С. Зернова, Г.А. Князев // Вестник ТОГУ. – 2013. – № 2. – С. 137–144.

## References

1. Trykov Iu.P., Gurevich L.M., Shmorgun V.G. Sloistye kompozity na osnove aliuminiia i ego splavov [Layered Composites Based on Aluminum and Its Alloys]. Moscow: Metallurgizdat Publ., 2004, 230 p.
2. Gurevich L.M., Pisarev S.P., Novikov R.E. Modelirovanie povedeniia titano-aliuminievrogo kompozita s intermetallidnymi vklucheniiami [Simulation of the behavior of titanium-aluminum composite with intermetallic inclusions]. *Izvestiia Volgogradskogo Gosudarstvennogo Tekh. Univ. Publ.*, 2016, no. 2, pp. 25–29.
3. Pol'kin I.S. Penoaliuminiy budushchego – peno-kompozit [Aluminum foam as a prospective composite foam]. *Tekhnologiya Legkikh Splavov*, 2006, no. 1–2, pp. 210–211.
4. Kovtunov A.I., Khokhlov Iu.Iu., Myamin S.V. Tekhnologiya formirovaniia sloistykh kompozitsionnykh materialov sistemy titan-penoaliuminiy [Technology of formation of layered composite materials of the system of titanium–aluminum foam]. *Metallurg*, 2015, no. 4, pp. 60-61.
5. Gurevich L.M., Trykov Iu.P., Gurulev D.N., Motuzova A.Iu., Ivanov Iu.V. Vliianie temperatury prokatki na predel'nuiu deformatsionnuiu sposobnost' titano-aliuminievrogo kompozita [Effect of rolling temperature on the ultimate deformation ability of a titanium-aluminum composite]. *Izvestiia Volgograd. Gos. Tekh. Univ.*, 2012, no.9, pp. 30-33.
6. Butarovich D.O., Riabov D.M., Smirnov A.A. Povyshenie protivominnoi zashchishchennosti bronirovannoi kolesnoi tekhniki pri pomoshchi zashchitnykh ekranov iz poristykh energopoglashchayushchikh metallov [Increasing mine protection of armored wheeled vehicles with protective screens made of porous energy-absorbing metals]. *Voprosy oboronnoy tekhniki*, 2011, no. 1-2, pp. 52-57.
7. Aksenov A.A., Ivanov D.O., Mansurov Iu.N., et al. Usloviia polucheniia kachestvennogo penoaliuminiia [Conditions for production of high-quality aluminum foam]. *Juvenis scientia*, 2016, no.3, pp.23-26.
8. Romanov V.S. Penoaliuminiy: Pro et contra [Aluminum foam: Pro et contra]. *Tekhnologiya Legkikh Splavov [Light Alloy Technology]*, 2006, no. 1-2, pp. 212-213.
9. Khokhlov M.A., Ishchenko D.A. Konstruktsionnye sverkhlegkie poristye metally [Structural ultralight porous metals]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2015, no. 3-4, pp. 60-65.
10. Kovtunov A.I., Khokhlov Iu.Iu., Miamin S.V. Vliianie kopal'ta na formirovanie i prochnost' tsepleniia kompozitsionnykh materialov penoaliuminii-titan [Effect of alloying with Co on the formation and adhesion strength of foam aluminum–titanium composite material]. *Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov*, 2019, no. 2, pp. 51-58.
11. Danenko V.F., Gurevich L.M. Vliianie alitirovaniia na svoistva uglerodistoi stali pri vysokikh temperaturakh [The effect of alitizing on the properties of carbon steel at high temperatures]. *Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov*, 2015, no. 4, pp.92-99.
12. Gur'ev A.V., Kuksa L.V. O roli mikro neodnorodnoy deformatsii v razrushenii i formirovaniu plasticheskikh svoystv dvukhfaznykh polikristallicheskikh splavov [On the role of microinhomogeneous deformation in the destruction and formation of plastic properties of two-phase polycrystalline alloys]. *Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov*, 1968, no. 4, pp. 97-104.
13. Kuksa L.V. Mikrodeformatsii i mekhanicheskie svoistva polikristallicheskikh splavov pri staticheskikh, dinamicheskikh i vysokotemperaturnykh ispytaniakh [Microdeformations and mechanical properties of polycrystalline alloys during static, dynamic and high temperature tests]. *Fizika metallov i metallovedenie*, 1997, vol.84, iss.1, pp. 96-105.
14. Gurevich L.M. Mekhanizmy strukturoobrazovaniia pri vzaimodeistvii titana s rasplavom aliuminiia [Mechanisms of structure formation in the interaction of titanium with aluminum melt]. *Izvestiia Volgograd. Gos. Tekh. Univ.*, 2013, no.6, pp. 6-13.
15. Riabov V.R., Rabkin D.M., Kurochko R.S., Strizhevskaiia L.G. Svarka raznorodnykh metallov i splavov [Welding dissimilar metals and alloys]. Moscow: Mashinostroenie, 1984, 239 p.
16. Kolachev B.A., Elagin V.I., Livanov V.A. Metallovedenie i termicheskaiia obrabotka tsvetnykh metallov i splavov [Metallurgy and heat treatment of non-ferrous metals and alloys]. Moscow, 2005, 432 p.
17. Liakisheva N.P. Diagrammy sostoianiia dvoynikh metallicheskikh sistem [State diagrams of binary metal systems]. Moscow: Mashinostroenie, 1996, vol.1, 992 p.
18. Emil'ianov A.V., Bazin Iu.A., Zamiatin V.M., Naisyirov Ya. A. O strukturnykh prevrashcheniakh v zhidkom aliuminii [About structural transformations in liquid aluminum]. *Izvestiia vuzov. Chernaiia metallurgiya*, 1985, no. 5, pp. 28-33.
19. Ri Kh., Ri E.Kh., Khimukhin S.N., Ri V.E., Zernova T.S., Knyazev G.A. Teplovoe vozdeistvie na strukturoobrazovanie i svoistva aliuminievykh splavov [Thermal effects on the structure formation and properties of aluminum alloys]. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no.2, pp. 137-144.

Получено 15.11.2020

Опубликовано 10.12.2020

### **Сведения об авторах**

**Ковтунов Александр Иванович** (Тольятти, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры сварки, обработки материалов давлением и родственных процессов Тольяттинского государственного университета, e-mail: akovtunov@rambler.ru.

**Хохлов Юрий Юрьевич** (Тольятти, Россия) – завлабораториями кафедры сварки, обработки материалов давлением и родственных процессов Тольяттинского государственного университета, e-mail: Y.Y.Khokhlov@rambler.ru.

**Мямин Сергей Владимирович** (Тольятти, Россия) – инженер 2-й категории НИЧ НОЦ «Сварка» Тольяттинского государственного университета, e-mail: oddknock@mail.ru.

### **About authors**

**Alexander I. Kovtunov** (Tolyatti, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Welding, Materials Processing with Pressure and Related Processes, Togliatti State University, e-mail: akovtunov@rambler.ru.

**Yury Yu. Khokhlov** (Tolyatti, Russian Federation) – Head of the Laboratories of the Department of Welding, Processing of Materials by Pressure and Related Processes, Togliatti State University, e-mail: Y.Y.Khokhlov@rambler.ru.

**Sergey V. Miamin** (Tolyatti, Russian Federation) – Engineer of the 2nd Category, National Research Center "Welding", Togliatti State University, e-mail: oddknock@mail.ru.