

УДК 621

НАНЕСЕНИЕ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ИЗ СПЛАВА AlSi10Mg, ПОЛУЧЕННЫЕ СЕЛЕКТИВНЫМ ЛАЗЕРНЫМ СПЛАВЛЕНИЕМ

М. С. ЕРЕМКИНА¹, И. Р. АСЛАНЯН²

¹m.nedosukova@mail.ru, ²as-irina@rambler.ru

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (МАИ)

Поступила в редакцию 15.03.2023

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию возможности получения химических никелевых покрытий на деталях энергоустановок из сплава AlSi10Mg, полученных селективным лазерным сплавлением. Показано, что никелевое покрытие, формирующееся на поверхности детали из алюминиевого сплава, полученной селективным лазерным сплавлением, несмотря на исходную высокую шероховатость поверхности, однородное, не имеет пор и разрывов. При этом для получения качественного покрытия перед процессом никелирования необходимо проводить четырехступенчатую подготовку поверхности, заключающуюся в травлении деталей, освещении, матировании и активации поверхности, а длительность процесса никелирования не должна превышать 90 мин.

Ключевые слова: энергоустановка; покрытия химические никелевые; алюминиевые сплавы; селективное лазерное сплавление; никелирование; поверхностный слой; шероховатость; микроструктура; химический состав.

ВВЕДЕНИЕ

Аддитивные технологии, развитие которых является одной из приоритетных задач промышленности, позволяют свободно реализовывать любые конструкторские и инженерные идеи в наукоемких отраслях производства, таких как ракетостроение, авиастроение, двигателе- и моторостроение и др. Расширение номенклатуры деталей, изготавливаемых методами аддитивных технологий, связано с уникальной возможностью получать готовые детали любой сложности из различных порошковых композиций. Так, в частности, из порошков сплава системы Al-Si при производстве деталей газотурбинных двигателей аддитивными методами изготавливаются корпус первой опоры компрессора, корпус центробежного насоса, при производстве вертолетных двигателей – различные кронштейны, качалки различной конфигурации, в ракетостроении – термопласты типовой жидкостной системы обеспечения теплового режима летательных аппаратов и т.д. Все эти детали характеризуются достаточно сложной формой, например, термопласты характеризуются высокой развитой поверхностью и их изготовление методами селективного лазерного сплавления (СЛС) из порошковых материалов на основе алюминия [1-4] экономически выгодно.

Несмотря на ряд преимуществ деталей, полученных аддитивными методами, имеются и некоторые особенности их свойств. Необходимо отметить высокую шероховатость поверхности таких деталей, наличие на поверхности налипших частиц порошка, объемную пористость и другие. Часть подобных дефектов можно исключить посредством нанесения покрытий на поверхность деталей, однако до настоящего времени подобные исследования не проводились. Поскольку основным преимуществом аддитивных технологий является возможность получения деталей сложной геометрической формы, то и среди способов

нанесения покрытий следует рассматривать способы, позволяющие наносить покрытия на детали подобного типа. Среди таких способов широко известен способ химического никелирования. Никелевые покрытия характеризуются высокими физико-химическими свойствам, повышенной твердостью и прочностью, коррозионной стойкостью в щелочных, слабодокислых растворах и атмосфере, высокой износостойкостью.

Целью данной работы является исследование возможности нанесения химических никель-фосфорных покрытий на детали энергоустановок, полученные методом СЛС, из сплава $AlSi10Mg$.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследований были выбраны части экспериментальной термоплаты типовой жидкостной системы обеспечения теплового режима, полученной методом селективного лазерного сплавления из порошка марки $RS333$ (Al – основа, Si 9,0-11,0 % мас.) со средним размером частиц 45 мкм. Параметры технологического процесса изготовления термоплаты и состав порошка описаны в работе [5].

Металлографические исследования структуры и химический анализ поверхности выполняли на сканирующем электронном микроскопе *Carl Zeiss EVO-40* с системой энергодисперсионного микроанализа *INCA X-ray Oxford instruments*.

Шероховатость образцов измеряли с помощью лазерного оптического микроскопа *Olympus LEXT OLS 5000*.

Перед нанесением $Ni-P$ покрытий применяли четырехступенчатую обработку поверхности детали для лучшего сцепления покрытия с основой, режимы которой представлены в табл. 1.

Таблица 1

Схема обработки поверхности

№	Наименование	Параметры процесса		Состав
		$T, ^\circ C$	τ, c	
1.	Травление	60	60	10 %-ный $NaOH$
2.	Осветление	20	5-10	30 %-ный HNO_3
3.	Матирование	20	60	200 г/л смеси 56 %-ного $NaNO_3$ и 44 %-ного $NaOH$
4.	Активация	20	60	20 г/л H_2SO

Подробное обоснование выбранных режимов подготовки поверхности образцов к нанесению покрытий представлено в работе [5].

Для нанесения химического $Ni-P$ покрытия применяли щелочной электролит химического никелирования следующего состава: хлористого никеля 46 г/л, гипофосфита натрия 20 г/л, хлористого аммония 50 г/л, лимоннокислого натрия 46 г/л при pH 8,0-9,0 и температуре ведения процесса 78-88 $^\circ C$. Длительность процесса осаждения покрытий составляла 60, 75, 90 и 120 мин. Маркером начала реакции служило появление пузырьков газа на поверхности покрываемых образцов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Известно [6-7], что никель-фосфорные покрытия можно наносить как электролитическим, так и химическим способом. Оба способа характеризуются простотой технологического процесса; основным требованием к покрытиям, наносимым на детали энергоустановок, является равномерность толщины получаемых покрытий на всех участках, что необходимо для обеспечения надежной эксплуатации. Осаждение покрытий методом химического никелирования не связано с процессами электролиза как при электролитическом способе нанесения покрытий, а следовательно, и с рассеивающей способностью электролита. Поэтому наращивание покрытия идет с одинаковой скоростью на всех участках детали, которые находятся в контакте с раствором. Это обуславливает принципиальную возможность получения равномерных по толщине никель-фосфорных покрытий на деталях любой

конфигурации, полученных химическим способом. По сравнению с электрохимическими покрытиями покрытия, полученные химическим осаждением, более твердые и менее пористые.

При помещении образцов в раствор для никелирования в течение минуты начиналось активное выделение пузырьков газа со всей поверхности образцов. При достижении времени осаждения 105 минут и более раствор приобретал темный мутный цвет. При повышении температуры раствора также наблюдалось его потемнение, при этом происходило бурное образование фосфитов никеля во всем объеме раствора, в результате чего раствор становился непригодным к дальнейшему использованию, а поверхность покрытий становилась шероховатой. Покрытия, осаждаемые в течение 120 минут, имели плохое качество сцепления с поверхностью образцов, начинали отслаиваться, поэтому в дальнейшем их не исследовали.

Исследования покрытий, осаждаемых в течение 60, 75 и 90 минут, показали, что *Ni-P* покрытия равномерно осаждались на всей поверхности исследуемых образцов (рис. 1а). Независимо от времени осаждения покрытий (60, 75 и 90 минут), покрытия наблюдались на всей поверхности образцов без разрывов (рис. 1б-г).

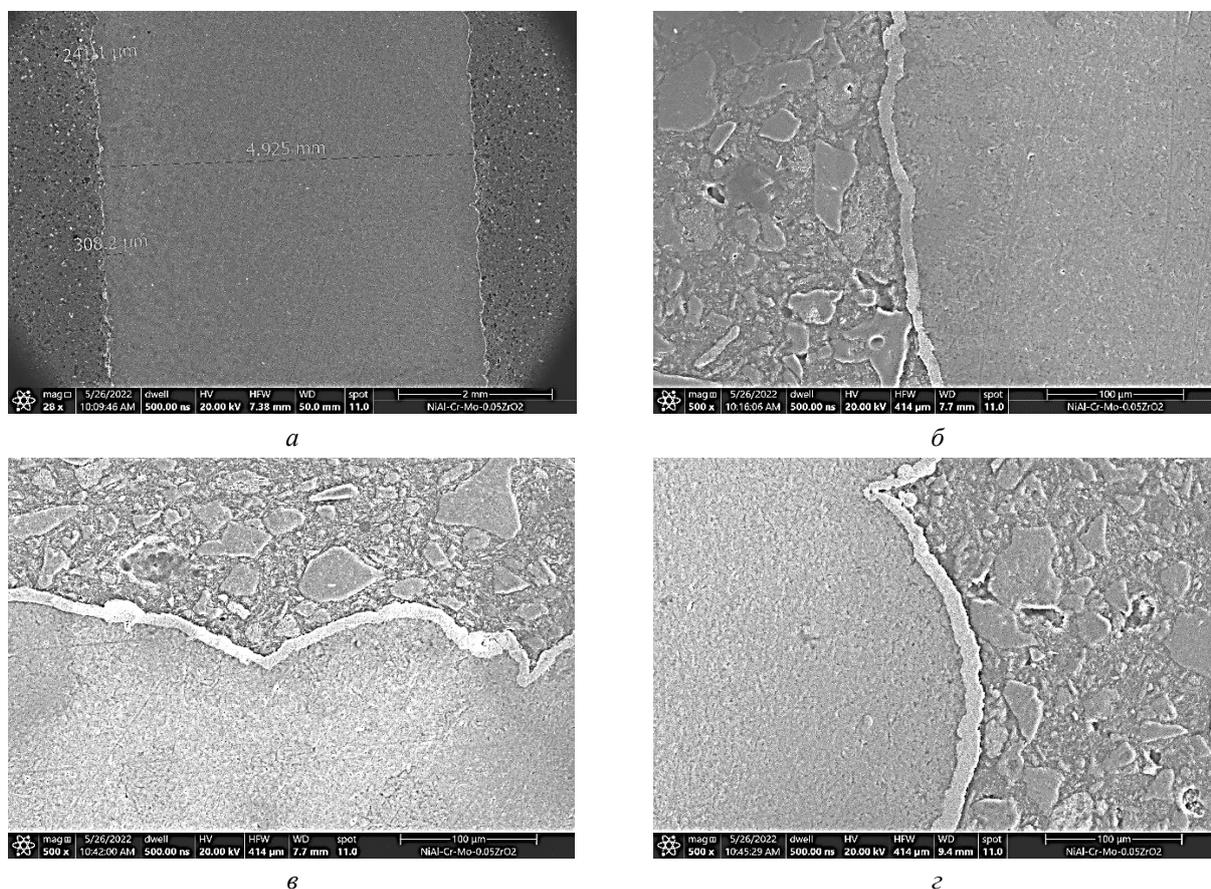


Рис. 1. Микроструктура поверхности образцов,

а – общий вид образца, осаждение покрытий в течение: б – 60 мин; в – 75 мин, г – 90 мин.

Также было установлено, что несмотря на высокую исходную шероховатость *Al-Si* образцов, полученных методом СЛС, никель-фосфорное покрытие осаждалось равномерно по всей поверхности образцов (рис. 2 а). Обнаружено, что при размере поры на поверхности образца глубиной менее 3 мкм, пора полностью заполняется покрытием (рис. 2 б), а при глубине поры 10 мкм и диаметре 2-3 мкм покрытие закрывает пору снаружи (рис. 2 в). При этом наблюдается тонкий слой покрытия около 1-2 мкм внутри закрытой поры.

Толщина получаемых покрытий представлена на рис. 3 в зависимости от времени осаждения (60, 75 и 90 минут соответственно). Как видно из проведенных исследований, толщина никель-фосфорных покрытий формируется в основном в первый час осаждения. Далее с увеличением времени осаждения покрытий скорость осаждения покрытий уменьшается, и толщина покрытий увеличивается незначительно. Проведенные исследования показали, что равномерность толщины полученных покрытий на поверхности каждого из образцов находится в пределах 10 %.

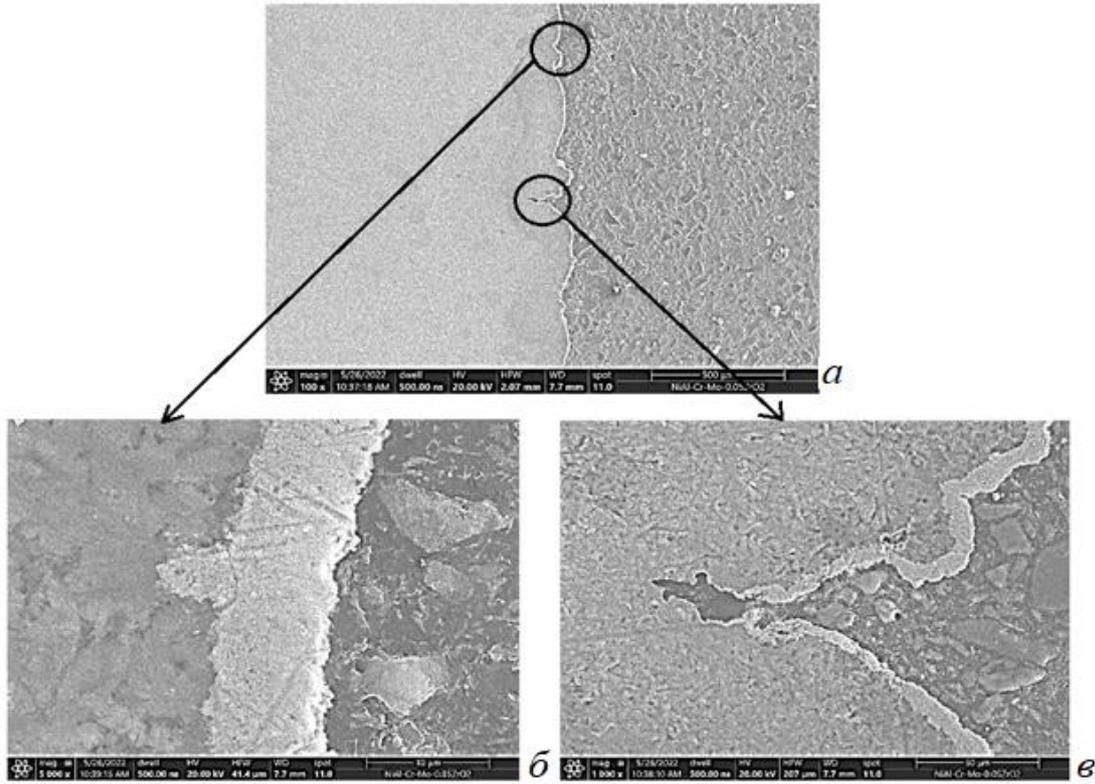


Рис. 2. Микроструктура поверхности образцов: а – общий вид, б – детали рис. а, в – детали рис. а.

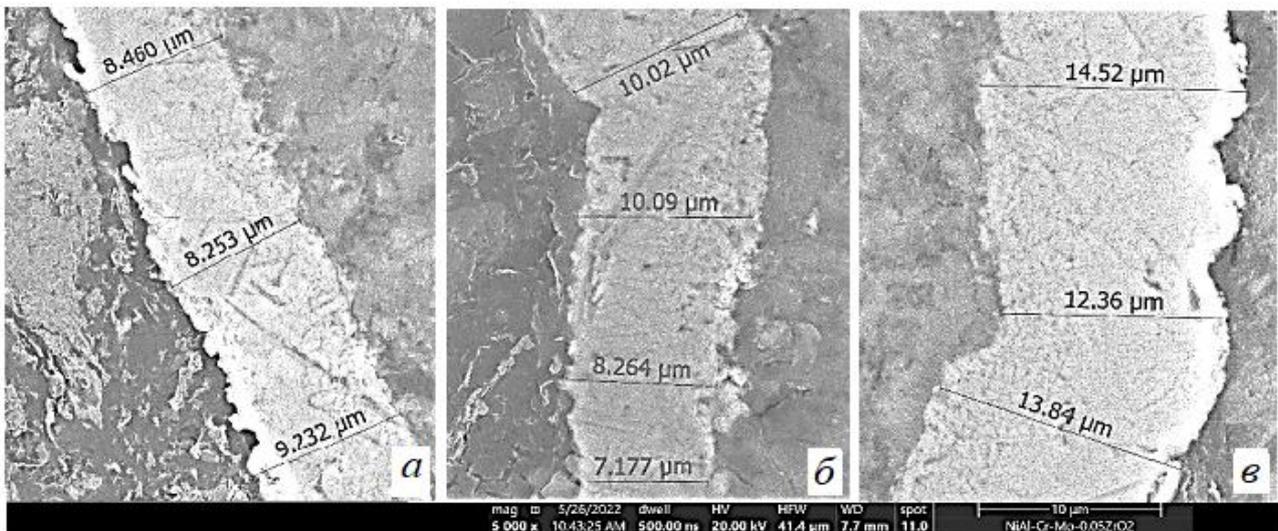


Рис. 3. Толщина покрытий, осаждение покрытий в течение: а – 60 мин; б – 75 мин, в – 90 мин.

Исходная шероховатость поверхности образцов из сплава $AlSi10Mg$, полученных методом СЛС, составляет $Ra \sim 16$ мкм. Известно [8], что шероховатость деталей, получаемых селективным лазерным сплавлением, напрямую зависит от технологических параметров выращивания деталей: направления выращивания, скорости и шага выращивания, а также

дисперсности используемых порошков. В результате травления при подготовке поверхности к никелированию [5] шероховатость поверхности снижается. Шероховатость поверхности и средняя толщина получаемых покрытий представлены в табл. 2. Толщина получаемых покрытий зависит от времени их осаждения; в свою очередь, зависимости шероховатости поверхности от времени осаждения не наблюдалось, главным образом она зависит от шероховатости исходной поверхности после СЛС.

Таблица 2

Шероховатость и толщина получаемых покрытий

Характеристики покрытий	Время осаждения покрытий, мин		
	60	75	90
Ra , мкм	10,57	12,28	11,29
Толщина, мкм	8,89	10,67	13,61

Металлографическая структура $Ni-P$ покрытий представлена на рис. 4. Эти покрытия светло-серого цвета с металлическим блеском имеют глобулярную структуру. Глобулы имеют средний размер от 2 до 5 мкм, который не зависит от времени осаждения покрытий. Глобулы появляются и растут непрерывно на протяжении всего процесса химического никелирования.

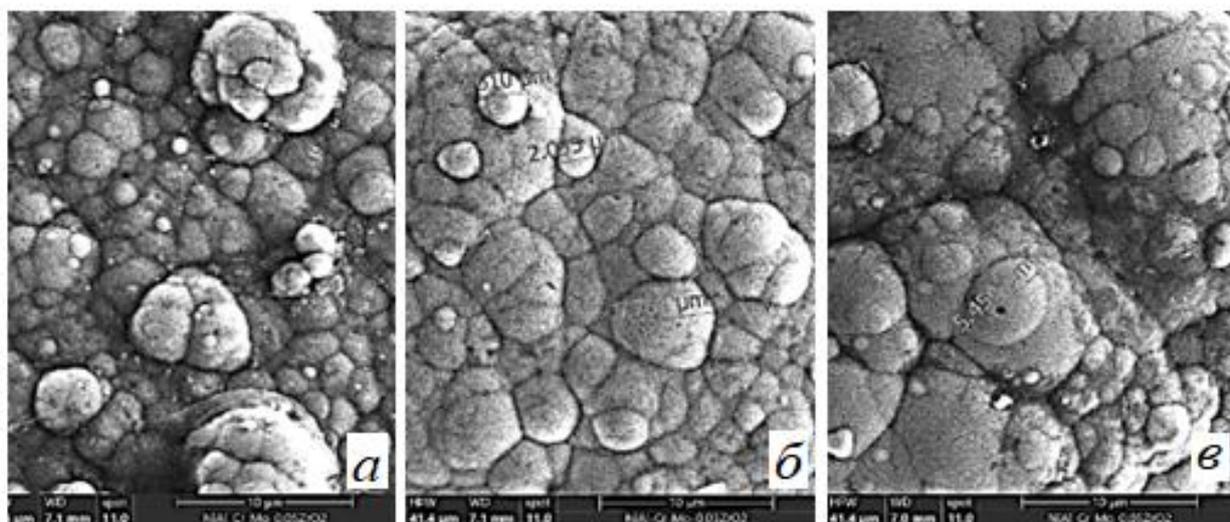


Рис. 4. Металлографическая структура образцов, осаждение покрытий в течение: а – 60 мин; б – 75 мин, в – 90 мин.

Элементный состав покрытий определяли по участку поверхности на поперечном шлифе (рис. 5). Также определяли распределение химических элементов по поверхности шлифа, которое показало равномерное распределение покрытия как на поверхности, так и по толщине покрытия.

Исследования элементного состава покрытий показали, что от времени осаждения их состав не зависит.

Таким образом, формируемые $Ni-P$ покрытия на поверхности деталей из сплава $AlSi10Mg$, получаемых методом селективного лазерного сплавления, характеризуются удовлетворительными свойствами: толщиной и однородностью химического состава, что является основными параметрами промышленных покрытий.

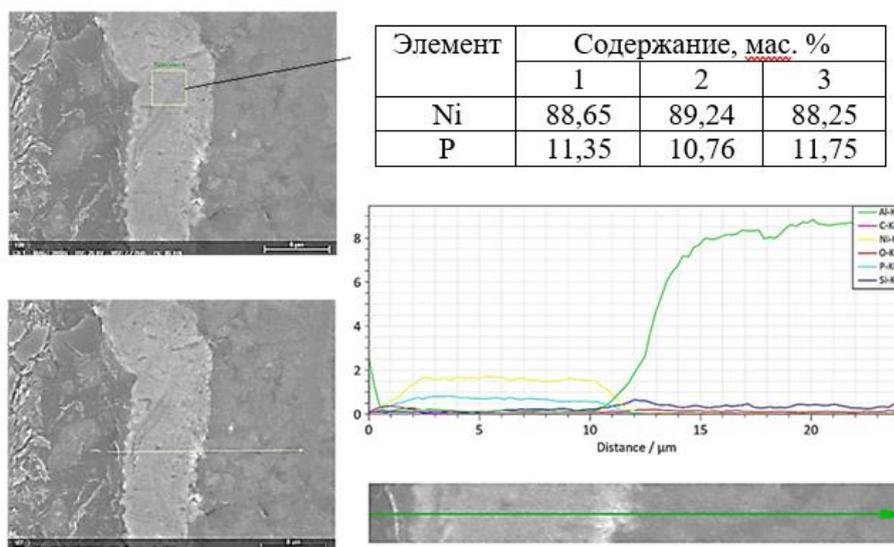


Рис. 5. Поперечный шлиф покрытия и химический состав покрытий в зависимости от времени осаждения (1 – 60 мин, 2 – 75 мин, 3 – 90 мин).

ВЫВОДЫ

Установлено, что, несмотря на высокую шероховатость поверхности деталей энергоустановок из сплава $AlSi10Mg$, полученных методом СЛС, возможно нанесение однородных $Ni-P$ покрытий химическим способом. При этом для равномерного нанесения химического $Ni-P$ покрытия требуется четырехступенчатая подготовка поверхности, заключающаяся в травлении деталей в водном растворе 10 % едкого натра в течение 0,5-1 мин при температуре 60 °С, освещении в 30 % растворе азотной кислоты в течение 5-10 секунд при комнатной температуре, матировании в растворе, содержащем 200 г/л смеси из 56 мас. % нитрата натрия и 44 мас. % гидроксида натрия, при комнатной температуре и активации поверхности в растворе, содержащем 20 г/л серной кислоты, при комнатной температуре в течение 60 с.

Для нанесения покрытий толщиной около 10 мкм длительность процесса должна составлять 60-75 мин. Образующиеся при этом покрытия характеризуются равномерной толщиной и однородностью.

Показано, что формирующееся на поверхности деталей, полученных селективным лазерным сплавлением из сплава $AlSi10Mg$, химическое $Ni-P$ покрытие равномерно распределено как по поверхности осаждения, так и по своей толщине, не имеет пор и разрывов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галиновский А.Л., Голубев Е.С., Коберник Н.В., Филимонов А.С. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники. М.: Юрайт, 2020. 115 с. [A.L. Galinovskiy, E.S. Golubev, N.V. Kobernik, A.S. Filimonov. Additive technologies in the production of aerospace products. Moscow: Yurait. 2020. 115 pp.]
2. Starke Jr., E.J. and Staley, J.T., Prog. Aerospace Sci., Vol. 32, pp. 131-172, 1996.
3. Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А. Понятие режимов лазерного спекания порошковых материалов. Вестник КузГТУ, 2010, № 3, с. 49–52. [N.A. Saprykina, A.A. Saprykin. "The concept of regimes of laser sintering of powder materials", (in Russian). Vestnik KuzGTU, 2010, № 36 pp. 49-52.]
4. I. E. Mal'tsev, A. A. Basov, L. N. Lesnevskii, L. V. Denisov, I. A. Nikolaev, M. S. Eremkina. Effect of Electrospark Alloying on the Geometry and Tribological Properties of the Surface of the $AlSi10Mg$ Alloy Produced by Selective Laser Melting. Russian Metallurgy (Metally), Vol. 2022, No. 12, pp. 1588–1595, ISSN 0036-0295.
5. Асланян И. Р., Еремкина М. С., Замышляев Д. А., Мальцев И. Е.. Разработка способа очистки поверхности деталей, полученных аддитивными методами. Электротехнология. 2022. № 12. С. 30-36. DOI 10.31044/1684-5781-2022-0-12-30-36. [I. R. Aslanyan, M. S. Eremkina, D. A. Zamyshlyayev, I. E. Maltsev. "Development of a method for cleaning the surface of parts obtained by additive methods", (in Russian). Elektrometallurgiya, 2022. №12, pp. 30-36.]
6. Гамбург Ю.Д.. Химическое никелирование (получение никель-фосфорных покрытий путем электрокаталитического восстановления гипофосфитом) М.: РАН. 2020. 82 с. [Yu.D. Hamburg. Chemical nickel plating (obtaining nickel-phosphorus coatings by electrocatalytic reduction with hypophosphite) М.: РАН. 2020. 82 p.]

7. Асланян И.Р., Криони Н.К., Шустер Л.Ш. Трибологические характеристики электролитических покрытий в различных условиях трения // Вестник УГАТУ. 2013. Т. 17. № 8 (61). С. 24–28. [I.R. Aslanyan, N.K. Krioni, L.Sh. Shuster. "Tribological characteristics of electrolytic coatings in various friction conditions", (in Russian). Vestnik UGATU, 2013. V.17, №8(61), pp. 24–28.]

8. Сапрыкина Н.А. Совершенствование технологии формирования поверхностного слоя изделий, полученных послойным лазерным спеканием. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, ТюмГНГУ, 2013. 20 с. [N.A. Saprykina. Improving the technology of forming the surface layer of products obtained by layer-by-layer laser sintering. Abstract dis. ... cand. tech. Sciences. Tyumen, Tsogu, 2013. 20 p.]

ОБ АВТОРАХ

Еремкина Мария Сергеевна, ассистент, аспирант кафедры «Технология производства двигателей летательных аппаратов» ФГБОУ ВО МАИ, дипл. магистр по направлению «Двигатели летательных аппаратов» (МАИ, 2020). Иссл. в обл. трибологии и материаловедения ГТД.

Асланян Ирина Рудиковна, профессор кафедры «Технология производства двигателей летательных аппаратов» ФГБОУ ВО МАИ, доктор технических наук, доцент, дипл. инженер-механик (УГАТУ, 1995). Иссл. в обл. трибологии и материаловедения ГТД.

METADATA

Title: Nickel plating of power plant parts from the AlSi10Mg alloy produced by selective laser melting.

Authors: M. S. Eremkina¹, I. R. Aslanyan².

Affiliation: Moscow Aviation Institute (National Research University)

Email: ¹m.nedosukova@mail.ru, ²as-irina@rambler.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), vol. 27, no. 2 (100), pp. 53-59, 2023. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: This work is devoted to the study of the possibility of forming chemical nickel coatings on parts of power plants from the AlSi10Mg alloy produced by selective laser alloying. It is shown that the nickel coating formed on the surface of an aluminum alloy part produced by selective laser alloying, despite the initial high surface roughness, is uniform and has no pores or breaks. At the same time, in order to produce a high-quality coating, before the nickel plating process, it is necessary to carry out a four-stage surface preparation, which consists in the etching of parts, their brightening, matting and surface activation, and the duration of the nickel plating process should not exceed 90 minutes.

Key words: Power plant; chemical nickel coatings; aluminum alloys; selective laser melting; nickel plating; surface layer; roughness; microstructure; chemical composition.

About authors:

EREMKINA, Maria Sergeevna, assistant, post-graduate student at the Department "Technology of Production of Aircraft Engines" of MAI, Dipl. Master's degree in the area of aircraft engines (MAI, 2020). Studies in the tribology and materials science of gas-turbine engines.

ASLANYAN, Irina Rudikovna, Professor at the Department "Technology of Production of Aircraft Engines" of MAI, Dr. Sci., Associate Professor, dipl. mechanical engineer (USATU, 1995). Studies in the tribology and materials science of gas-turbine engines.