



Организатор



При поддержке



Устроитель



«Аддитивные технологии в авиаиндустрии»

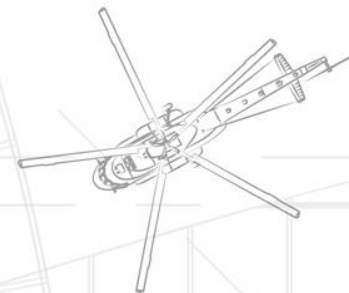
ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Еремкина Мария Сергеевна
аспирантка кафедры «Технология изготовления двигателей
летательных аппаратов»
Московский авиационный институт



www.helirusia.ru

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ВЕРТОЛЕТНОЙ ИНДУСТРИИ



Аддитивное производство (АП)

Преимущества АП:

- Получение деталей сложной формы с наличием внутренних каналов;
- Скорость получения деталей;
- Сокращение отходов производства и т.д.

Недостатки АП:

- Высокая шероховатость поверхности;
- Налипание отдельных частиц порошка на поверхности деталей в процессе изготовления;
- Необходимость постобработки поверхности и т.д.

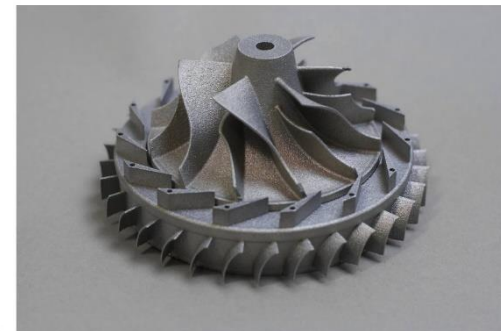
При эксплуатации элементы ДЛА и ЭУ подвержены:

- коррозионному износу,
- эрозионному износу,
- механическому износу,
- окислительному износу,
- заеданию при трении и т.д.



Решение:

Нанесение функциональных покрытий



Объект исследования

**Подложка – сплав AlSi10Mg
(порошок марки RS333, $d_{ср} = 45$ мкм)**

Элемент	Al	Si	Mg	Fe	примеси
%, (мас.)	основа	9,0-11,0	0,2-0,45	0,2	0,15

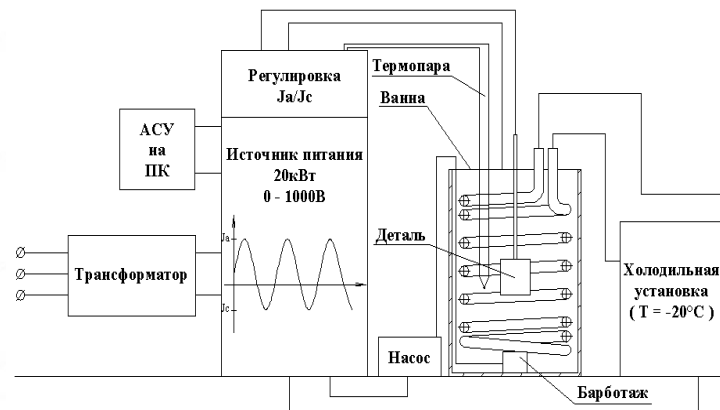
Параметры технологического процесса СЛС

№	Параметр	Значение
1.	Мощность лазера, Вт	370
2.	Скорость лазера, мм/с	1300
3.	Межтрековое расстояние, мм	0,19
4.	Объемная плотность энергии, Дж/мм ³	49,9

Химические Ni-P покрытия



МДО покрытия



Оборудование и методики исследования

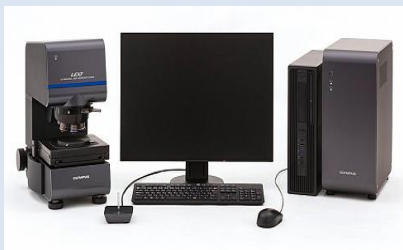
1. Металлографические исследования структуры и исследование элементного состава поверхности

Сканирующий электронный микроскоп Carl Zeiss EVO-40 с системой энергодисперсионного микроанализа INCA X-ray Oxford instruments



2. Исследование шероховатости и толщины покрытий, определение объемного износа

Лазерный микроскоп Olympus LEXT OLS 5000



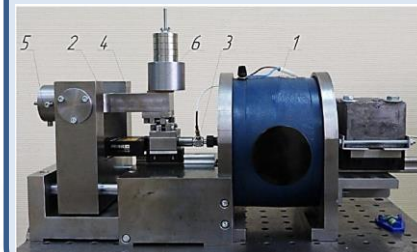
3. Контроль массы образцов

Аналитические весы GR-202 (AND, Япония) с точностью 10⁻⁴ г.



4. Трибологические испытания

Машина трения модель 1401
Схема «шар-плоскость»

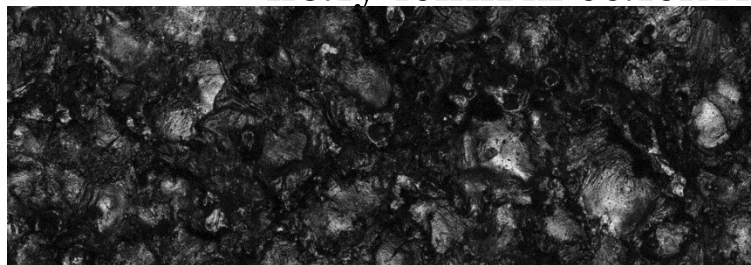


5. Испытание на коррозионную стойкость.

ГОСТ 9.302-88 «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические органические».

Исследование поверхностного слоя образцов из Al-Si сплава, полученных селективным лазерным сплавлением

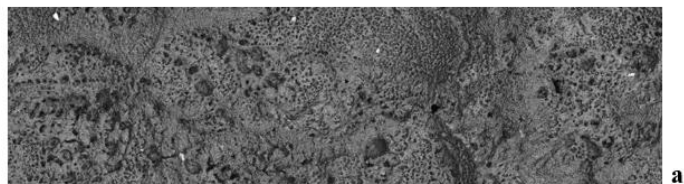
Схема очистки поверхности образцов от слабодержащихся частиц порошка



Металлографическая структура исходной поверхности образцов после СЛС (×20). $Ra = 16 \text{ мкм}$

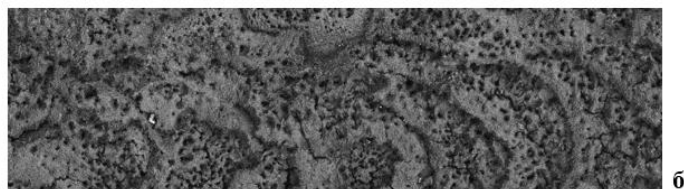
№	Наименование	Параметры процесса		Состав
		T, °C	τ, с	
1.	Травление	60	60	10 %-ный NaOH
2.	Осветление	20	5-10	30 %-ный HNO ₃
3.	Матирование	20	60	200 г/л смеси 56 %-ного NaNO ₃ и 44 %-ного NaOH

$Ra = 11,7 \text{ мкм}$



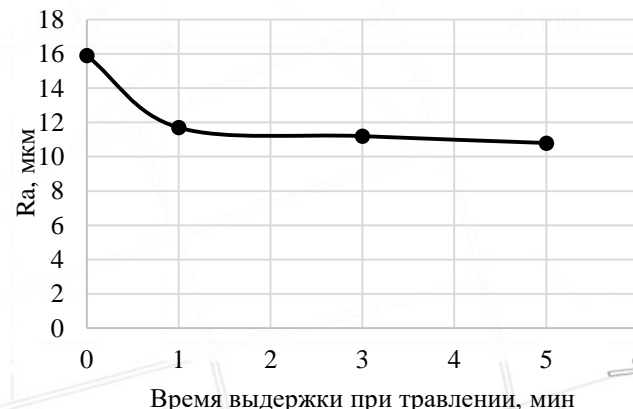
а

$Ra = 10,8 \text{ мкм}$



б

Металлографическая структура поверхности образцов после травления (×50): а) 60 сек; б) 300 сек.



Исследование и анализ никелевых покрытий

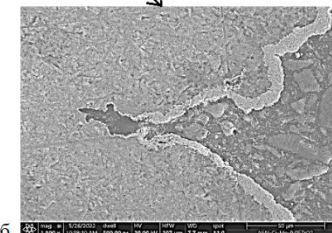
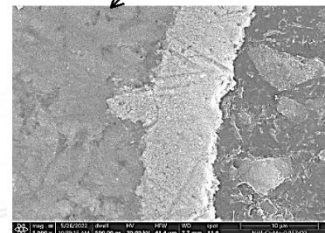
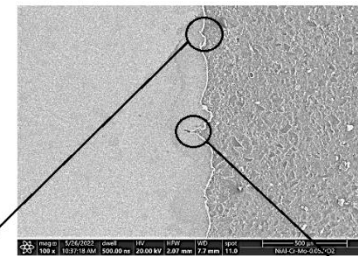
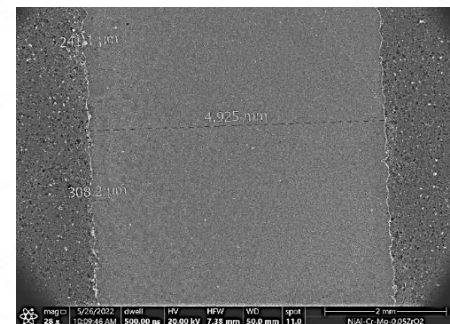
Схема четырехступенчатой подготовки поверхности образцов перед химическим никелированием

№	Наименование	Параметры процесса		Состав
		T, °C	τ, с	
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 ₂ SO

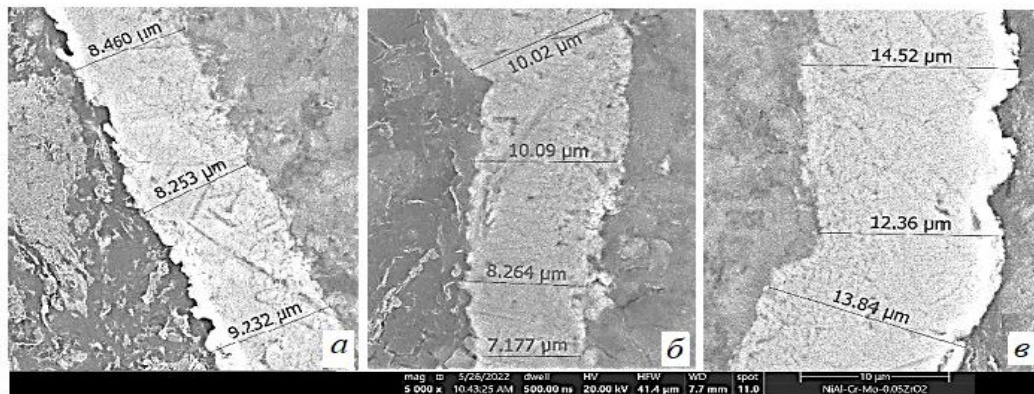
Режимные параметры никелирования

Техпроцесс	T, °C	τ, мин	Состав
Никелирование	78-88	60,	46 г/л хлористого никеля,
		75,	20 г/л гипофосфита натрия,
		90,	50 г/л хлористого аммония,
		120	46 г/л лимоннокислого натрия

Микроструктура покрытия на шлифе



Исследование толщины и элементный анализ никелевых покрытий

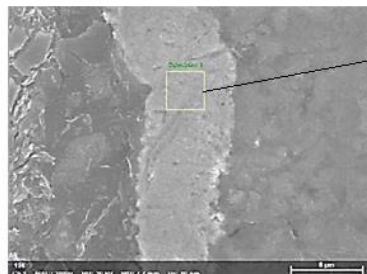


Характеристики покрытий	Время осаждения покрытий, мин		
	60	75	90
Ra, мкм	10,57	12,28	11,29
Толщина, мкм	8,89	8,67	13,61

Толщина покрытий, осаждение покрытий в течение:

а) 60 мин; б) 75 мин, в) 90 мин

Элементный состав покрытия



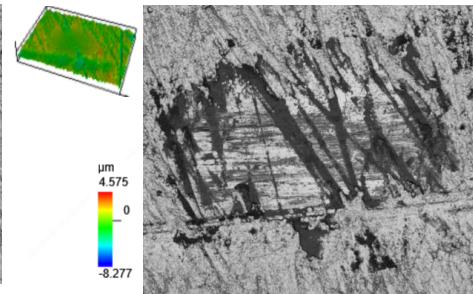
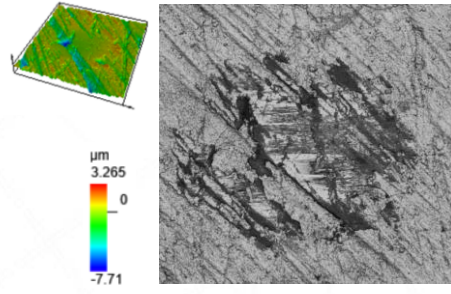
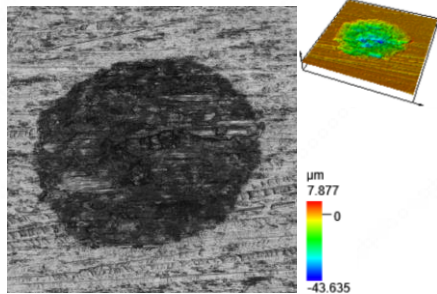
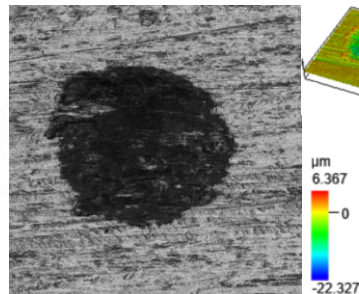
Элемент	Содержание, %, мас
Ni	88,65
P	11,35



Исследование Ni-P покрытий на износ

Сплав AlSi10Mg, полученный СЛС без покрытия

Покрытие Ni-P 90 мин на сплаве AlSi10Mg, полученном СЛС



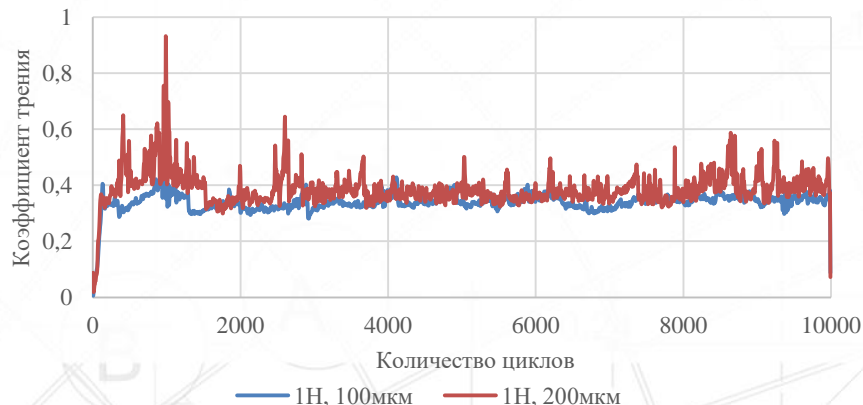
P = 1 Н, A = 100 мкм
 $V_{\text{износ}} = 1407781 \text{ мкм}^3$

P = 1 Н, A = 200 мкм
 $V_{\text{износ}} = 6055798 \text{ мкм}^3$

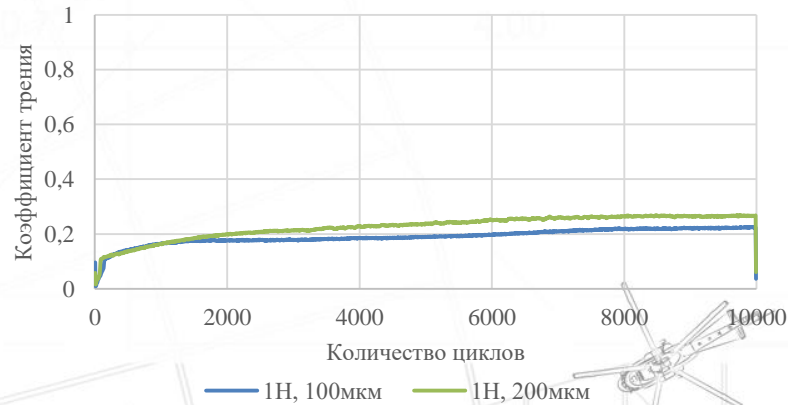
P = 1 Н, A = 100 мкм
 $V_{\text{износ}} = 61733 \text{ мкм}^3$

P = 1 Н, A = 200 мкм
 $V_{\text{износ}} = 245122 \text{ мкм}^3$

Коэффициент трения AlSi10Mg



Коэффициент трения Ni-P покрытий 90 мин



Микродуговое оксидирование (МДО)

Режимные параметры процесса:

Время оксидирования: $t = 50 - 350$ мин

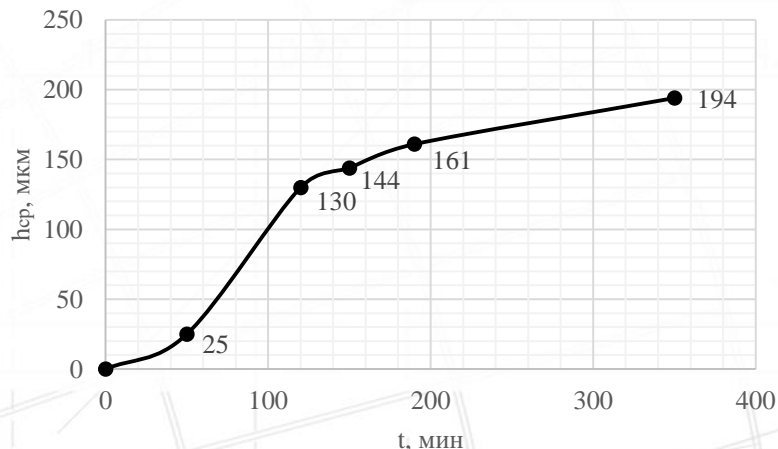
плотность тока: $j = 25$ А/дм²

Состав электролита:

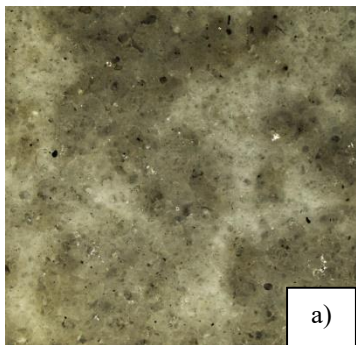
вода, КОН – 3 г/л, Na_2SiO_3 – 10 г/л, $Na_4P_2O_7$ – 10 г/л.

Изменение толщины покрытия с ростом времени оксидирования

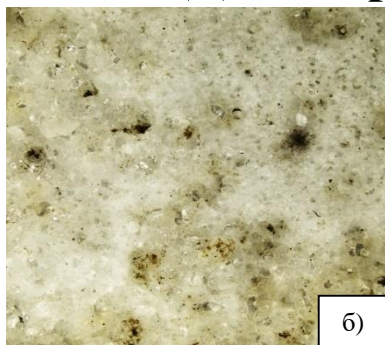
t, МИН	0	50	120	150	190	350
h _{ср} , МКМ	0	25	130	144	161	194
Δh, МКМ	0	16-60	60-270	55-300	60-310	77-473



Микроструктура и элементный состав МДО покрытий



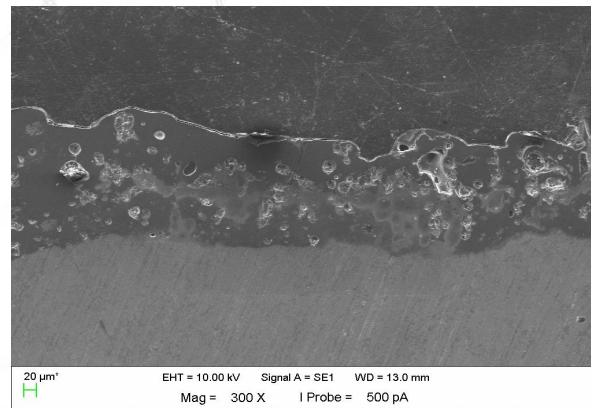
а)



б)

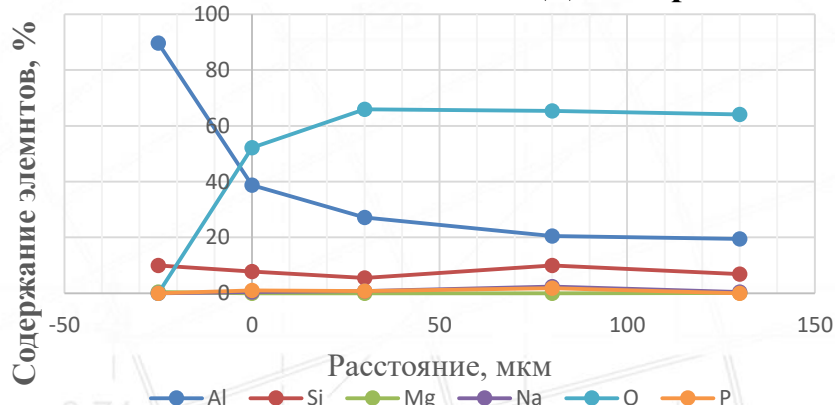
Структура поверхностного слоя МДО покрытий:

а) 120 мин, б) 190 мин.



Микроструктура МДО покрытия на поперечном шлифе.

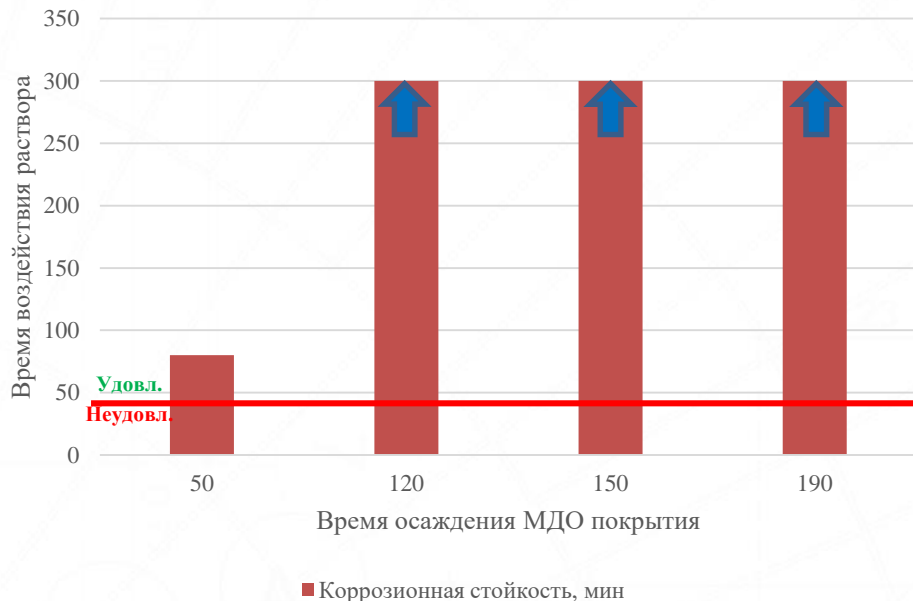
Изменение элементного состава МДО покрытия по толщине



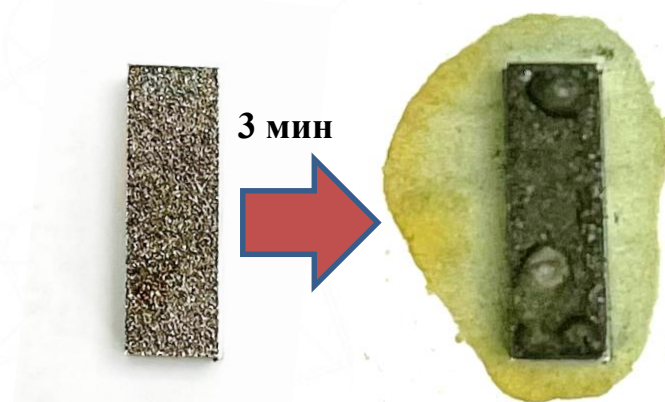
Коррозионная стойкость МДО покрытия

ГОСТ 9.302-88 «Единая система защиты от коррозии и старения. Покрyтия металлические и неметаллические неорганические».

Испытательный раствор: вода+HCl+K₂Cr₂O₇



МДО покрытия, осаждённые на сплаве AlSi10Mg, полученном СЛС, обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью в испытательном растворе.



Выводы

1. Определена технология очистки поверхности деталей, полученных методом СЛС из сплава AlSi10Mg.
2. Установлено, что такая обработка поверхности приводит к удалению частиц порошка с низкой адгезией к поверхности и снижению шероховатости поверхности образцов на 26,4 %.
3. Установлено, что несмотря на высокую исходную шероховатость поверхности AlSi10Mg образцов, полученных методом СЛС, возможно нанесение однородных Ni-P покрытий химическим способом с равномерной толщиной покрытия около 10 мкм.
4. Выявлено, что Ni-P покрытия снижают износ деталей, полученных методом СЛС из сплава AlSi10Mg.
5. Установлено, что на детали, полученные методом СЛС из сплава AlSi10Mg, можно наносить функциональные покрытия методом микродугового оксидирования. Полученные покрытия имеют кристаллическую структуру, являются неметаллическими и неорганическими.
6. Установлен характер роста МДО покрытий. Выявлено, что толщина получаемых покрытий растет прямо пропорционально увеличению времени осаждения. Возможно получать покрытия средней толщиной от 25 мкм до 200 мкм в зависимости от времени оксидирования.
7. Выявлено, что МДО покрытия на сплаве AlSi10Mg, полученном селективным лазерным сплавлением, имеют удовлетворительную коррозионную стойкость и могут эффективно применяться в качестве защиты от коррозии.

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Докладчик:

Еремкина Мария Сергеевна
аспирантка кафедры «Технология
изготовления двигателей летательных
аппаратов»

Московский авиационный институт