

УДК 621.794.61

ФОРМИРОВАНИЕ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВА АК9 ПОСЛЕ 3D ПЕЧАТИ

А. Р. Арсланов¹

¹og_as_car@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В исследовании рассматривается структура алюминиевого сплава АК9, полученная с помощью технологии Selective Laser Melting (SLM), а также структура и качество, полученного поверхностного упрочняющего слоя, сформированного методом микродугового оксидирования (МДО).

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, алюминиевые сплавы, аддитивные технологии.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время использование алюминия и его сплавов широко распространено в различных отраслях: машиностроение, авиационная промышленность, судостроение и т.п.; причиной тому служат его свойства и технологичность, но несмотря на это, он обладает и рядом недостатков, такие как: низкая износостойкость, низкие тепло- и коррозионная стойкости, что ограничивает область применения. В попытке устранения данных проблем используется метод микродугового оксидирования (МДО), который формирует на поверхности деталей покрытие, обладающее высокой микротвердостью, коррозионной стойкостью, теплостойкостью и износостойкостью, что должно повысить эксплуатационные свойства и ресурс работы деталей.

На ряду с этим развивается относительно новое и ещё малоизученное направление формирования деталей-аддитивные технологии. Несмотря на их ещё малое внедрение в серийные производства, оно уже способно конкурировать с классическими методами формообразующего производства: литьё и штамповка. Благодаря использованию аддитивных технологий, детали, полученные с помощью 3D печати, обладают высокой точностью воспроизведения формы, уменьшаются затраты на производство.

Анализ литературы показал, что структура и свойства МДО-покрытий существенно зависят от структуры алюминиевого сплава обрабатываемой детали. Структура сплава оказывает влияние на толщину, пористость, микротвердость и коррозионную стойкость МДО-покрытий. Считается, что сплавы системы Al-Si, имеющие в составе кремний содержанием выше 3% трудно поддающимся формированию на нем оксидного покрытия [1], что связано с более высоким электросопротивлением кремния по сравнению с алюминиевой матрицей. Отмечается, что одним из определяющих факторов, влияющих на формирование покрытия, является размер и форма кремниевых частиц в структуре Al-Si сплавов различного состава [2]. Также было установлено, что частицы кремния тормозят рост оксидного слоя при МДО-процессе, что приводит к уменьшению оксидного слоя, повышению его разнотолщинности и пористости, сни-

жению твердости и адгезии [3]. Проведенный анализ литературы показал, что данные исследований влияния структуры материала заготовок, полученных методом 3D печати, на свойства МДО-покрытий, в настоящее время в научной литературе ограничены.

В связи с этим целью данной работы является исследование влияния структуры алюминиевого сплава образца, сформированного по аддитивной технологии 3D печати, на состав, структуру и свойства МДО-покрытий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовательская часть была проведена на образцах алюминиевого сплава АК9 (Al-9%Si, ГОСТ159-83) после 3D-печати. В качестве метода 3D печати выбрана технология SLM – селективное лазерное плавление [4].

Обработке методом МДО подвергались круглые пластины диаметром 20 мм и толщиной 3 мм. Предварительной промывке и обезжириванию поверхность образцов не подвергалась. МДО проводили в растворе жидкого стекла (Na_2SiO_3) – 1,5 г/л и едкого калия (KOH) – 4 г/л [5,6]. Продолжительность обработки составила 60 минут.

Микроструктуру сплава АК9 изучали с помощью оптического микроскопа «Olympus GX51».

Для оценки толщины покрытий и объемной доли пор проводили съемку изображений системы «основной металл-покрытие» с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) «JEOL JSM 6490LV». Перед съемкой образцы заливали в жидкую эпоксидную смолу и после отверждения проводили их установку в колонну микроскопа. Объемную долю пор определяли точечным методом Глаголева [7].

Твердость МДО-слоев по Виккерсу (HV) определяли на микротвердомере «Struers Duramin», для чего на подготовленные образцы накладывали нагрузку 100 гр в течение 10 секунд.

Рентгеноструктурный анализ МДО-слоев проводили на дифрактометре «Ultima IV Rigaku».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате 3D печати формируется структура алюминиевого сплава АК9 ячеистого типа (рис. 1), вытянутая вдоль направления роста детали. Внутреннее строение ячеек представляет собой дендриты. Средний размер ячеек составляет по вертикали 91 ± 6 мкм, по горизонтали 85 ± 6 мкм.

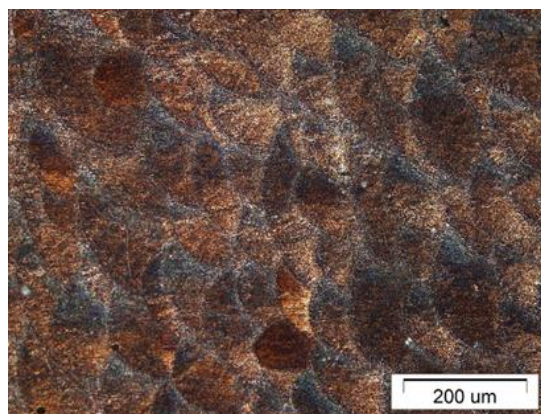


Рис. 1. Микроструктура сплава АК9 после 3D печати

Как видно, исходных крупных частиц кремния, характерных для неравновесного литого состояния кремнистых алюминиевых сплавов [8], в структуре АК9 сформированной методом 3D не обнаружено.

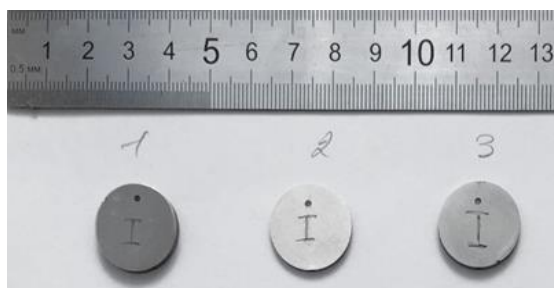


Рис. 2. Внешний вид образцов сплава АК9 после 3D печати до МДО покрытия

МДО покрытие, представленное на рисунке 3, получилось однородным в периферии, высокопористым, имеются отдельные длинные цепочки пор, высокая пористость наблюдалась в области переходного и технологического слоя [9]. Покрытие характеризуется средней толщиной = 150 ± 20 мкм.

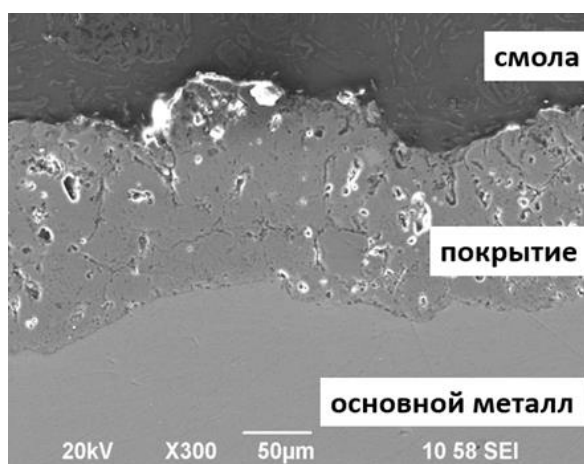


Рис. 3. МДО-покрытие сплава АК9 после 3D печати по режиму №2

При переходе к рабочему слою, состоящему из оксида алюминия Al_2O_3 (область 3, рис. 4) пористость падает. Оксид алюминия Al_2O_3 характеризуется высокой твёрдостью. Тенденция снижения твёрдости наблюдается в зависимости от отдаления от основного металла, что объясняется высоким количеством находящихся пор в данной области.

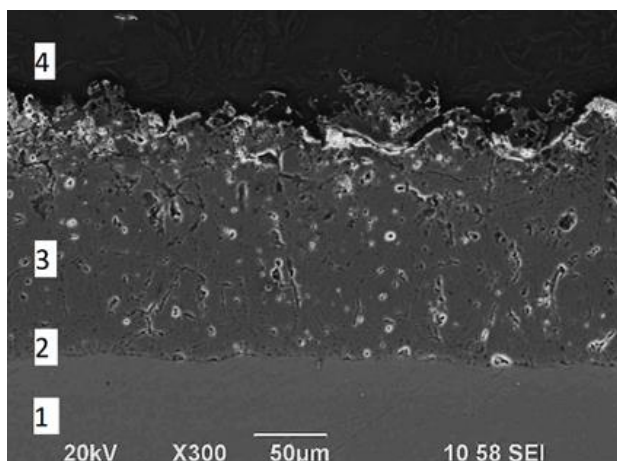


Рис. 4. Изображение классического представления МДО-слоя, 1 – металл; 2 – переходный слой; 3 – основной слой; 4 – эпоксидная смола, РЭМ

Для зависимости твёрдости МДО-слоя от пористости, представленной на рисунке 5, прослеживается следующая тенденция: чем ниже пористость, тем выше твёрдость. Рабочий слой имеет твёрдость выше, чем другие области покрытия, что подтверждается и авторами других

работ [8,9]. Общий характер распределения пористости и микротвёрдости по толщине покрытия соответствует зависимостям, представленным ранее в литературе [10].

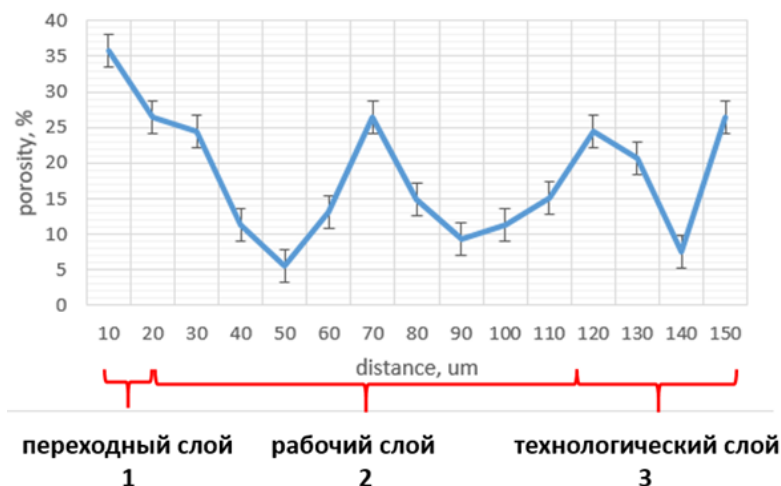


Рис. 5. График зависимости пористости покрытия от расстояния от поверхности металла (Режим №2)

Полученное МДО покрытие характеризуется средней микротвёрдостью $930 \pm 15 \text{HV}$. Наибольшие значения HV наблюдались на расстоянии 40...50 мкм от основного металла. Максимальное значение микротвёрдости покрытия составило 1235HV. График зависимости твёрдости от расстояния от поверхности основного металла представлен на рисунке 6.

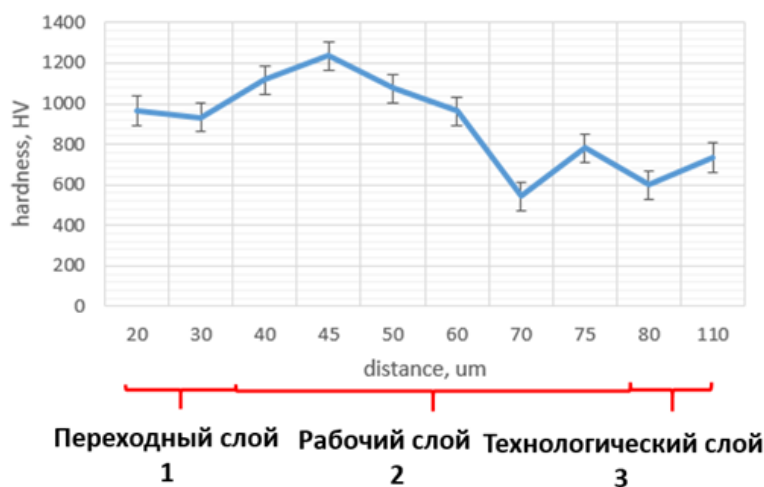


Рис. 6. График зависимости твёрдости покрытия от расстояния от поверхности металла

При проведении рентгеноструктурного фазового анализа, результаты которого представлены на рисунке 7, была использована послойная съёмка МДО-покрытия. Для этого с образца снимался слой покрытия шкуркой зернистостью $\times 500$, далее образец промывался под струей воды и устанавливался в камеру дифрактометра. При анализе данных, было выявлено, что в слое имеются классические фазы, характерные для МДО-покрытия алюминиевых сплавов: α – Al_2O_3 (альфа-фаза), Θ – Al_2O_3 (тетта-фаза), γ – Al_2O_3 (гамма-фаза). По мере удаления от основного металла, состав фаз покрытия остаётся неизменным.

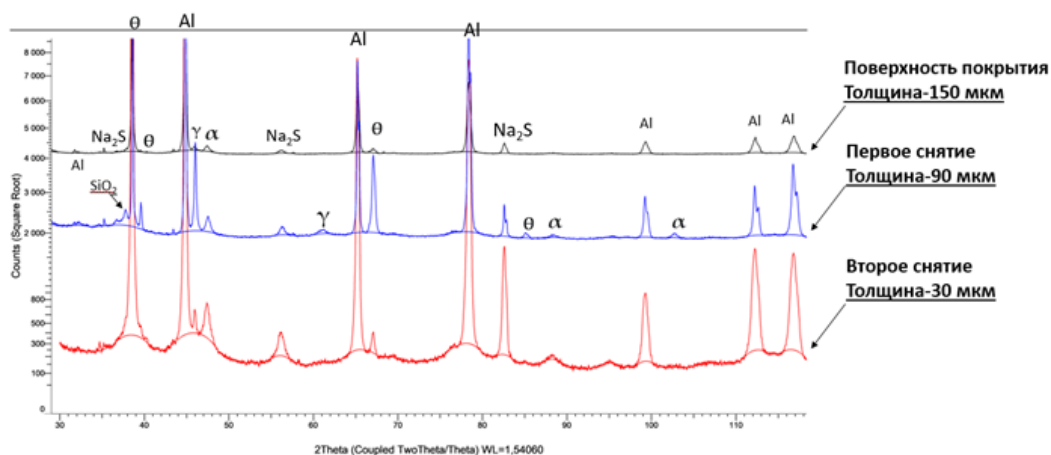


Рис. 7. Рентгеноструктурный анализ МДО-слоев

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной работе показана возможность получения оксидного покрытия средней толщины 150 ± 20 мкм методом микродугового оксидирования на образцах кремнистого алюминиевого сплава АК9, полученных по технологии 3D печати. Структура МДО-покрытия, характеризуется неоднородным распределением пор. Максимальное значение микротвёрдости МДО-покрытия составило 1235HV.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б. и др. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) // М.: ЭКОМЕТ. 2005. С. 368.
2. Киселева С.К., Зайнуллина Л.И., Абрамова М. М., Пинегина А. А., Дударева Н.Ю., Александров И.В. Влияние микроструктуры Al-Si-сплава на качество слоя, полученного методом микродугового оксидирования // Вестник УГАТУ. 2015. №Т. 19, № 2 (68) С. 1–6.
3. Кристал М.М., Рюмкин М.О. Влияние исходной структуры Al-Si-сплавов на свойства получаемых методом микродугового оксидирования оксидных слоев и торможение частицами кремния роста оксидного слоя // "Материаловедение". 2008. №Т. 12, С. 50–60.
4. Галиновский А.Л., Голубев Е.С., Коберник Н.В., Филимонов А.С. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники. М.: Юрайт, 2020. С. 115.
5. Дударева Н.Ю., Бутусов И.А., Кальщиков Р.В. Влияние режимов микродугового оксидирования на механические свойства образцов из алюминиевого сплава // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика 2014. №4. С. 102–117. DOI: 10.15593/perm.mech/2014.4.04
6. Киселева С.К., Зайнуллина Л.И., Абрамова М. М., Пинегина А. А., Дударева Н.Ю., Александров И.В. Микродуговое оксидирование высококремнистого алюминиевого сплава АК12Д// Наука и образование МГТУ им. Н.Э Баумана. Электрон. журн. 2015. № 7. С. 115–128.
7. Салтыков С. А Стереометрическая металлография // М.: Металлургия, 1976. - 270 с.
8. Караваев А. К., Пучков Ю.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВА AlSi10Mg, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2020. №5. С. 71–85.
9. Микродуговое оксидирование. (пособие для чайников и не только) (или, о чем молчат специалисты) // ООО НПФ "ТОМ" URL: <http://www.firma-tom.ru/> (дата обращения: 19.06.2022).
10. Эпельфельд А. В. Применение технологии микродугового оксидирования для формирования защитных покрытий [Электронный ресурс]. URL: http://tompve.ru/science/techn_mash.htm (дата обращения 22.01.2023).

ОБ АВТОРАХ

АРСЛАНОВ Аскар Рустемович, магистр каф. МиФМ.

METADATA

Title: Microarc oxidation of aluminum alloy AK9.

Author: A. R. Arslanov ¹

Affiliation:

¹ Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹ og_as_car@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 1 (30), pp. 10-15, 2024. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The study examines the structure of the AK9 aluminum alloy obtained using 3D printing (SLM method), as well as the structure and quality of the obtained surface hardening layer formed by the microarc oxidation (MAO) method.

Key words: microarc oxidation, aluminum alloys, additive technologies.

About authors:

ARSLANOV, Askar Rustemovich, Master. Student, Dept. of Materials Science and Physics of Metals.