

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МДО-ПОКРЫТИЙ

¹А.С. Калиниченко, ²А.И. Комаров, ²В.И. Комарова,
²В.В. Мешкова, ²Д.О. Искандарова, ²Ю.И. Фролов

¹ Белорусский Национальный Технический Университет,
г. Минск, Беларусь

² Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
г. Минск, Беларусь

Исследованы микротвердость и фазовый состав МДО-покрытий на алюминиевом сплаве АД35 в зависимости от предварительной лазерной обработки поверхности.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, лазерная обработка, покрытие, алюминиевые сплавы, микротвердость, фазовый состав

INFLUENCE OF PRELIMINARY LASER TREATMENT OF ALUMINUM ALLOYS ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF TREATMENT MICROARC OXIDATED COATINGS

¹A.S. Kalinichenko, ²A.I. Komarov, ²V.I. Komarova,
²V.V. Meshkova, ²D.O. Iskandarova, ²Y.I. Frolov

¹ Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

²The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National
Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Microhardness and phase composition of coatings formed on aluminum alloy AD35 specimens by means of microarc oxidation are investigated depending on preliminary surface laser treatment.

Keywords: microarc oxidation, laser treatment, coatings, aluminum alloys, microhardness, phase composition

E-mail: scvdmed@bntu.by

Микродуговое оксидирование (МДО) — вид поверхностной обработки и упрочнения металлических материалов, берущий свое начало от традиционного анодирования и, соответственно, относится к электрохимическим процессам. Микродуговое

оксидирование позволяет получать многофункциональные керамикоподобные покрытия с уникальным комплексом свойств, в том числе износостойкие, коррозионно-стойкие, теплостойкие, электроизоляционные и декоративные покрытия [1].

Ранее было исследовано влияние предварительной механической обработки алюминиевых сплавов перед нанесением МДО-покрытий, которое выявило возможность формирования композиционных покрытий, содержащих в каждом слое участки $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ различной конфигурации [2].

Лазерная обработка — это технология обработки материалов с использованием в качестве источника энергии лазерного луча. Особенностью лазерной обработки является достижение высоких плотностей энергии, что обеспечивает возможность локальной обработки поверхности без объемного разогрева детали. Настоящая работа направлена на исследование влияния предварительной лазерной обработки алюминиевых сплавов как операции, предшествующей нанесению МДО-покрытия для повышения конечных свойств формируемых композиционных покрытий.

Методика проведения исследований

Предварительная лазерная обработка проводилась на образцах алюминиевого сплава АД-35 с целью установления влияния данного типа обработки на конечные свойства полученных покрытий в сравнении с классическим МДО без предварительной обработки.

Лазерная обработка проводилась с помощью CO_2 -лазера непрерывного действия типа «Комета» мощностью 1 кВт, оснащенного механической системой с ЧПУ, управляющим фокусирующей оптикой. Диапазон скоростей перемещения луча составил 1000–280 мм/мин. Энерговклад в поверхность при лазерной обработке представлен в табл. 1.

Табл. 1

Удельная энергия лазерной обработки поверхности сплава АД-35

№ дорожки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$J, \text{ Дж/мм}^2$	1,43	1,54	1,67	1,72	1,77	1,85	1,92	2,0	2,08	2,17	2,27	2,38

Предварительная лазерная обработка АД35

Микроструктуры образцов из сплава АД35 после предварительной лазерной обработки представлены на рис. 1.

Анализ микроструктур показал, что признаков эффекта направленной кристаллизации, изменения формы и размеров зерен не обнаружено. После лазерной обработки наблюдается снижение пористости и уменьшение размера пор.

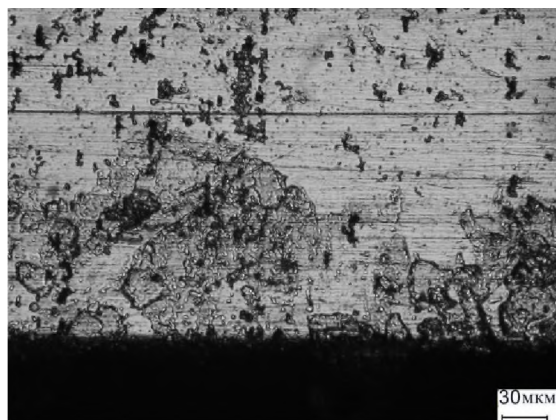
МДО сплава АД35 после предварительной лазерной обработки

Образцы из сплава АД35 подвергались микродуговому оксидированию в среде силикатно-щелочного электролита, модифицированного наночастицами углеродными добавками.

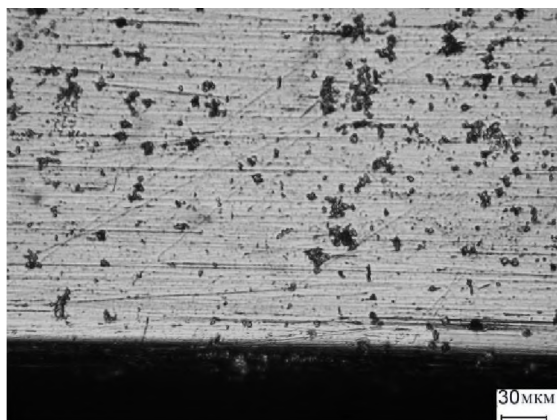
Микроструктуры полученных покрытий представлены на рис. 2.



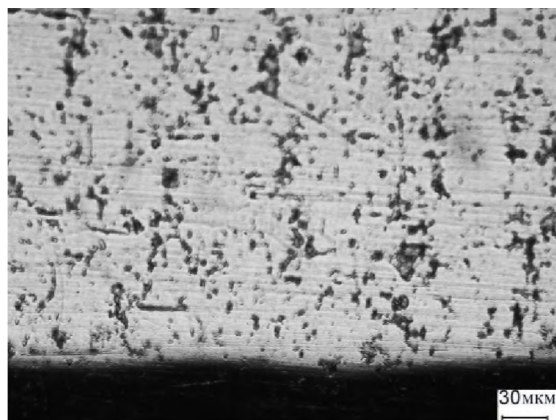
а
 $\delta=250$ мкм, $t=1,5$ ч, без л/о



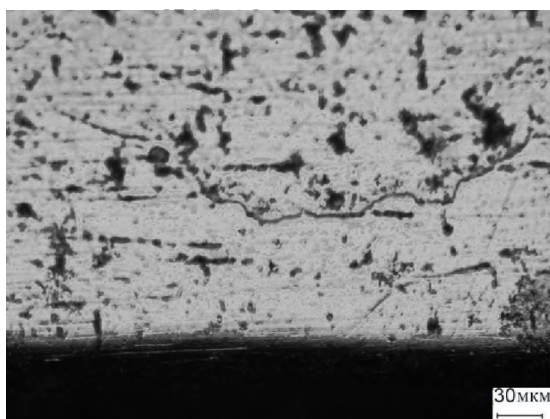
б
 $\delta=315$ мкм, $t=4,5$ ч, $1,43$ Дж/мм²



в
 $\delta=244$ мкм, $t=1,5$ ч, $1,54$ Дж/мм²



г
 $\delta=253$ мкм, $t=1,5$ ч, $2,38$ Дж/мм²



д
 $\delta=298$ мкм, $t=3$ ч, $3,57$ Дж/мм²

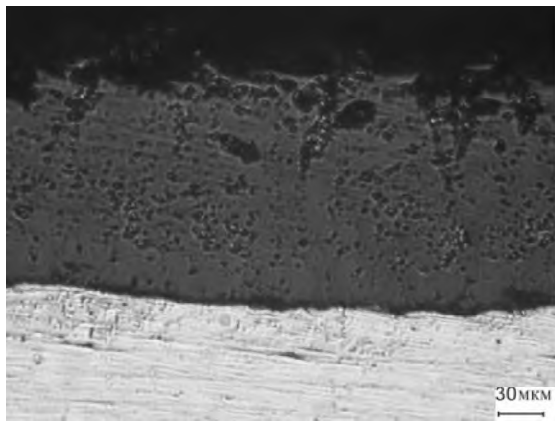
Рис. 1. Микроструктуры образцов из сплава АД35:
 а — без предварительной лазерной обработки;
 б, в, г, д — с предварительной лазерной обработкой



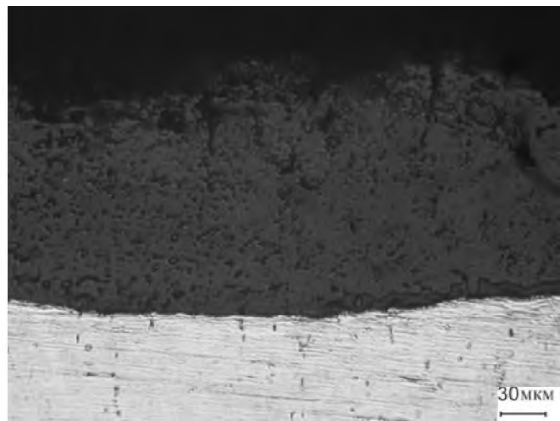
а
 $\delta=250$ мкм, $t=1,5$ ч, без л/о



б
 $\delta=315$ мкм, $t=4,5$ ч, 700 мм/мин, 1,43 кДж/мм²



в
 $\delta=244$ мкм, $t=1,5$ ч, 650 мм/мин, 1,54 кДж/мм²



г
 $\delta=253$ мкм, $t=1,5$ ч, 420 мм/мин, 2,38 кДж/мм²



д
 $\delta=298$ мкм, $t=3$ ч, 280 мм/мин, 3,57 кДж/мм²

Рис. 2. Микроструктуры покрытий на сплаве АД-35
 а — без предварительной лазерной обработки;
 б, в, г, д — с предварительной лазерной обработкой

Анализ микроструктур показал, что произошло выравнивание границы раздела между покрытием и основой, а также снижение пористости в приграничных слоях. Заметного увеличения толщины по сравнению с базовым образцом не обнаружено.

Распределение $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

Распределение $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ по толщине покрытий для сплава АД35 для различных скоростей перемещения лазерного луча представлено на рис. 3.

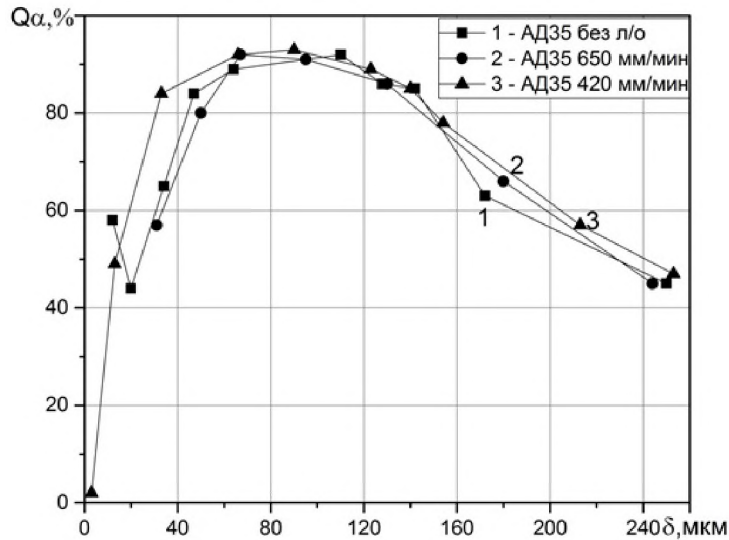


Рис. 3. Распределение $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ по толщине покрытий для сплава АД35

Анализ графиков показывает, что предварительная лазерная обработка незначительно повлияла на характер распределения α -фазы Al_2O_3 по глубине МДО-покрытий, за исключением сглаживания провалов на графике, обусловленных, по-видимому, выравниванием структуры исходного материала вследствие лазерной обработки. Наибольший процент содержания α -фазы Al_2O_3 наблюдается при скорости движения лазерного луча $v = 420$ мм/мин.

Распределение микротвердости по толщине покрытия на сплаве АД35 после лазерной обработки

Распределение микротвердости по толщине покрытия на сплаве АД35 после лазерной обработки для различных скоростей перемещения луча представлено на рис. 4.

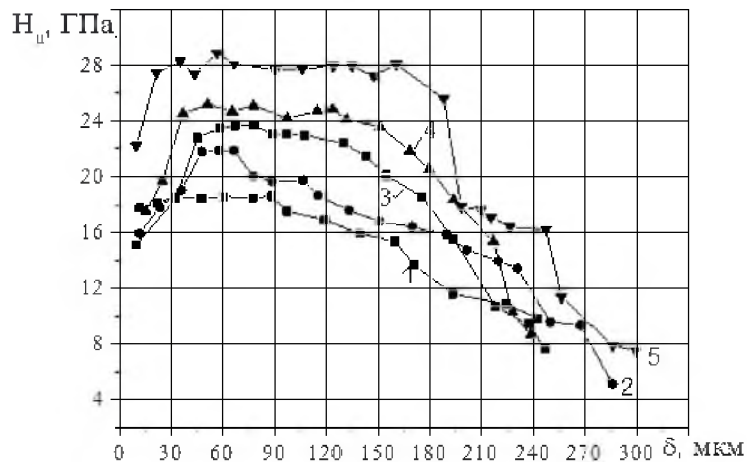


Рис. 4. Распределение микротвердости по толщине покрытия на сплаве АД35:
1 — без лазерной обработки и с лазерной обработкой, при скоростях
2 — 280 мм/мин, 3 — 420 мм/мин, 4 — 650 мм/мин, 5 — 700 мм/мин

Все образцы, включая базовый обладают высоким значением микротвердости (более 16 ГПа), причем образцы, прошедшие лазерную обработку, обладают ярко выраженным плато с равномерным распределением микротвердости по толщине покрытия, с протяженностью около 100 мкм. Пиковые значения микротвердости для скоростей перемещения лазерного луча составляют: 480 мм/мин — 23,5 ГПа, 650 мм/мин — 25 ГПа, 700 мм/мин — 29 ГПа. Очевидно, что скорость лазерной обработки оказывает значительное влияние на повышение микротвердости композиционных покрытий — с повышением скорости средняя микротвердость возрастает. При этом по данным графика на рис. 3 микротвердость самого исходного материала изменялась незначительно. Возможно это связано с тем, что предварительная лазерная обработка повышает поверхностную энергию материала, а также придает ему микро-рельеф, выступы которого являются концентраторами появления большего количества микро-разрядов при проведении процесса МДО.

Выводы

При лазерной обработке происходит измельчение зерен α — твердого раствора при отсутствии вторичных фаз. Это свидетельствует о снятии упрочнения, обусловленного наличием зон Гинье–Престона и вторичных метастабильных фаз. Упрочнение происходит, очевидно, за счет измельчения зерна и увеличения дефектности структуры. Микротвердость в зоне оплавления термоупрочненных алюминиевых сплавов обычно несколько понижается по сравнению с исходным состоянием. Несмотря на это, лазерное термоупрочнение с последующим нанесением МДО-покрытий позволяет заметно увеличить физико-механические характеристики композиционных покрытий, что особенно актуально для авиастроительной и других отраслей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микродуговое оксидирование (обзор). Приборы. / И. В. Суминов [и др.]; Крит / 2001, № 9. — С. 13–23.
2. Влияние исходной шероховатости поверхности сплава АД-35 на структуру сформированных на нем МДО-покрытий / А.И. Комаров [и др.]; Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2016. — с. 136–144.

REFERENCES

1. Suminov I. V., Epelheld A. V., Ludin V. B., Borisov A. M., Krit B. L. Mikrodugovoe oksidirovanie (obzor) [Microarc oxidation (review)]. Pribory, 2001. №9, pp. 13–23. (in Russian)
2. Kalinichenko A. S., Komarov A. I., Komarova V. I., Meshkova V. V. Vliyanie ischodnoy sherochovatosti poverchnosti splava AD-35 na strukturu sphormirovannykh na nem MDO-pokrytiy [The influence of the initial surface roughness of the AD-35 alloy on the structure of the microarc oxidated coatings formed on it] Sovremennyye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov: XI Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya (Minsk, September 18–20, 2016) — Minsk: PHTI NAS of Belarus, 2016; iss. 2 (3), pp. 136–144. (in Russian).

Статья поступила в редакцию 14.04.17