

В.В. Мешкова¹, А.С. Калиниченко¹, А.И. Комаров²

¹УО «Белорусский национальный технический университет»,
Минск, Беларусь

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ МДО-ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Введение

Алюминиевые сплавы представляют собой перспективную группу материалов, используемых в различных областях техники. Однако, их физико-механические и эксплуатационные свойства не всегда соответствуют заявленным требованиям производства, в частности кабельного, где для изготовления медного и алюминиевого корда широко используются тела вращения типа ролик и диск из алюминия. За рубежом технологии предлагают использование либо цельнокерамических роликов, производство которых представляет значительные сложности и на сегодняшний момент в нашей стране не ведется, либо применение алюминиевых деталей, упрочненных гальваническим хромовым покрытием. Данное покрытие не обеспечивает необходимой стойкости деталей протягивающего оборудования, кроме того, нанесение гальванических покрытий создает повышенную нагрузку на окружающую среду в связи с высокой токсичностью и сложностью утилизации электролита. В этой связи, упрочнение алюминиевых сплавов является важной задачей современной науки и техники.

Была предложена технология нанесения комбинированного покрытия, включающая в себя микродуговое оксидирование для получения на поверхности материала стойкого оксидокерамического покрытия и последующего лазерного модифицирования, полученного МДО-слоя, для фиксации высокотемпературной α -фазы Al_2O_3 .

1. Материалы, методики и оборудование

Микродуговое оксидирование (МДО) – вид поверхностной обработки и упрочнения металлических материалов, берущий свое начало от традиционного анодирования и относящийся к электрохимическим процессам. Микродуговое оксидирование позволяет получать многофункциональные керамикоподобные покрытия с уникальным комплексом свойств, в том числе износостойкие, коррозионностойкие, теплостойкие, электроизоляционные и декоративные покрытия [1].

Технология микродугового оксидирования отработана только для группы вентильных металлов и их сплавов, прежде всего алюминиевых и титановых. МДО-покрытия находят всё более широкое применение в самых различных областях – от производства товаров бытового назначения и медицины до приборостроения и аэрокосмической промышленности [1].

Структура и состав МДО-покрытий определяются условиями их формирования. Так, например, толстые покрытия на алюминии, полученные в силикатно-щелочном электролите, состоят из трёх слоев: тонкого переходного, основного рабочего, с максимальной твердостью и минимальной пористостью, состоящего в основном из корунда (Al_2O_3) и наружного технологического, обогащённого алюмосиликатами [2].

При проведении процесса МДО не всегда удаётся получить в качестве рабочего слоя оксидокерамическое покрытие, состоящее из высокотемпературной α -фазы Al_2O_3 , обладающей более высокой твердостью. Как показали исследования [3], МДО-покрытие в рабочей зоне состоит из α и γ -фаз Al_2O_3 (рисунок 1); количество α -фазы максимально у основы и убывает к поверхности покрытия, количество γ -фазы у основы минимально и при приближении к поверхности покрытия увеличивается.

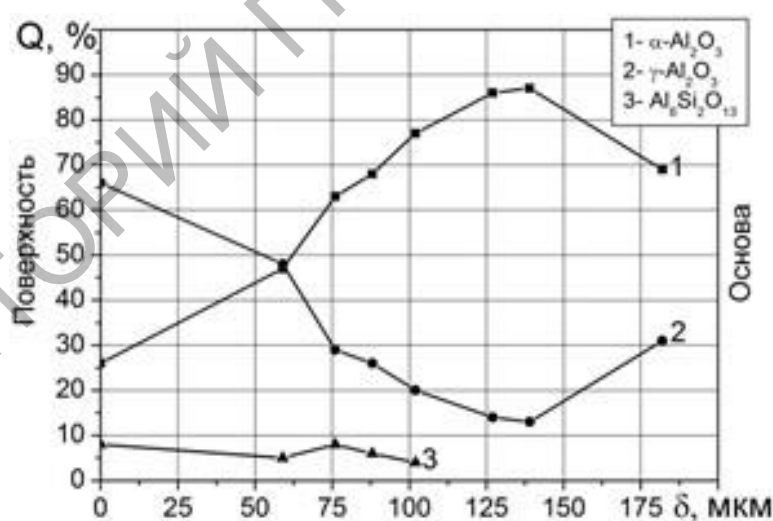


Рисунок 1 – Распределение оксидных фаз в МДО-слоя по глубине покрытия от поверхности к основе

Фиксацию высокотемпературной α -фазы Al_2O_3 для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств было предложено

производить с помощью лазерного модифицирования поверхности полученного оксидокерамического покрытия.

Исследования выполнялись на сплаве АД35, из которого была изготовлена партия образцов размером 18×20×6 мм. Вследствие относительно низкой легированности, сплавы данной группы уступают дуралюминам по прочности, но более пластичны как в холодном, так и горячем состоянии и обладают лучшей коррозионной стойкостью. Сплав АД35 применяется в авиационной промышленности, судостроении, машиностроении для изделий, для которых требуется сочетание средней прочности, высоких пластичности и коррозионной стойкости. Традиционно средний уровень упрочнения сплава АД35 достигается закалкой с последующим искусственным или естественным старением [4].

Образцы, из сплава АД35, с целью создания на них композиционных покрытий, были подвергнуты микродуговому оксидированию в среде силикатно-щелочного электролита (смесь воды дистиллированной – 10 л; КОН – 10 г; Na₂SiO₃ – 60 г.), модифицированного нанокремнезёмными добавками. Режимы нанесения МДО-покрытия:

Напряжение, В	380
Плотность тока, А/дм ²	10
Время выдержки, мин	90

Лазерная обработка проводилась с помощью СО₂-лазера непрерывного действия типа «Комета» мощностью 1 кВт с длиной волны излучения $\lambda=10,6$ мкм, оснащенного механической системой с ЧПУ, управляющую фокусирующей оптикой. Режимы лазерной обработки подбирались согласно проведенным исследованиям по критерию минимальной шероховатости поверхности, т.е. без переплава покрытия и основы и составили:

d – диаметр пятна излучения, мм	3-8
V – скорость лазерной обработки, мм/мин	300-1000
s – шаг обработки, мм	3

2. Результаты и обсуждение

Средние значения микротвердости композиционных покрытий, полученных сочетанием МДО и лазерной обработки при различных диаметрах пятна излучения и скоростях обработки, не вызывающих переплава поверхности покрытия, приведены на рисунке 2.

Во всех случаях микротвердость покрытий имеет очень высокое значение в диапазоне 5000-7500 МПа. Это связано с уменьшением пористости покрытия вследствие заполнения пор под действием

оплавления лазерным лучом, а также с образованием аморфных структур в зоне лазерного воздействия. Анализ графиков показывает, что с уменьшением скорости лазерного луча при постоянном диаметре луча увеличивается микротвердость получаемого композиционного покрытия за счет повышения энерговклада в поверхность покрытия.

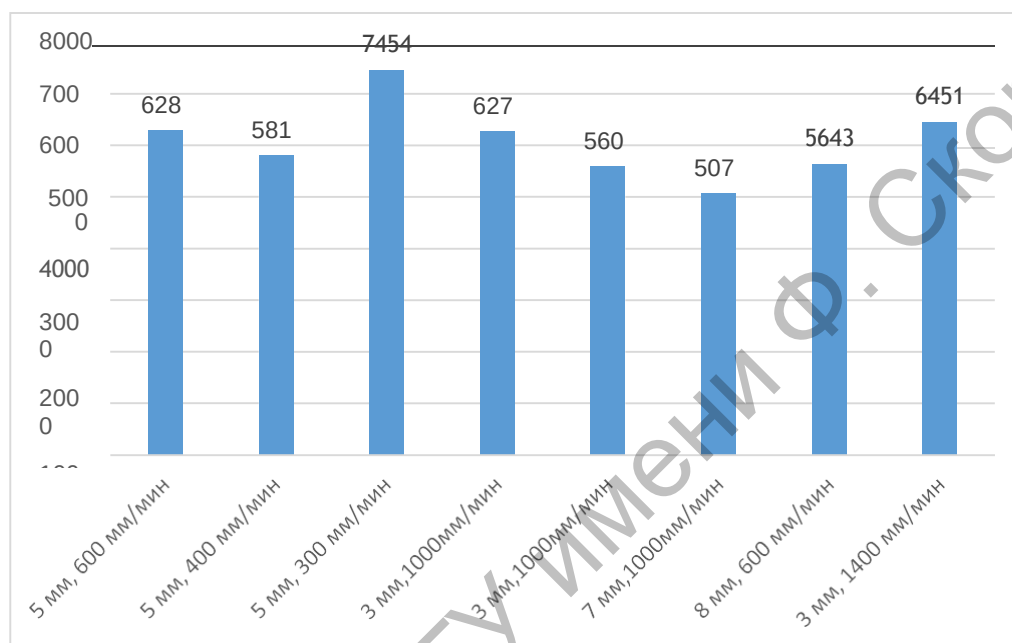


Рисунок 2 – Средние значения микротвердости композиционного покрытия в зависимости от параметров лазерной обработки

Распределение микротвердости композиционных покрытий, полученных сочетанием МДО и лазерной обработки по глубине покрытий от поверхности к основе при диаметре пятна излучения $d=5$ мм и различных скоростях обработки приведено на рисунке 3.

Анализ графиков показывает, что композиционные покрытия, прошедшее лазерную обработку на скоростях $V=300$ мм/мин и $V=400$ мм/мин, имеют сходный характер; микротвердость сплава при $V=300$ мм/мин имеет более высокие значения. Микротвердость КП при скорости обработки $V=600$ мм/мин отличается большей нестабильностью, при более высоком пиковом значении в рабочей зоне, на глубине около 0,35 мкм от поверхности наблюдается резкое падение значений микротвердости, так как в этой области расположена переходная зона между покрытием и основой.

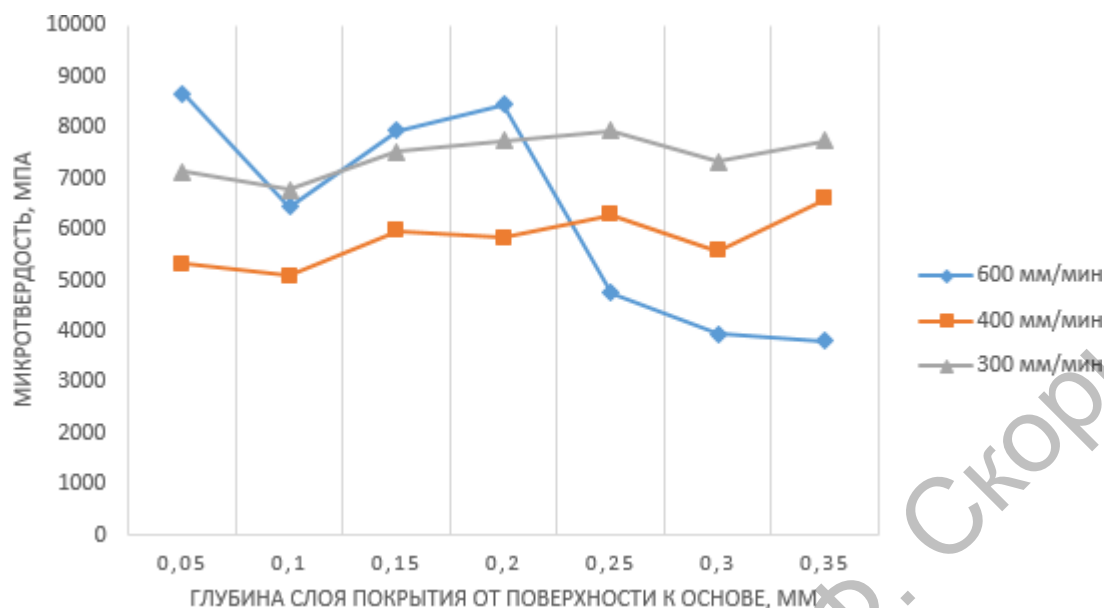


Рисунок 3 – Распределение микротвердости по глубине КП при различных скоростях лазерного луча, $d=5$ мм

Заключение

Для композиционных покрытий, полученных сочетанием МДО и последующей лазерной обработки зависимость микротвердости композиционного покрытия от скорости обработки и диаметра лазерного луча имеет обратный характер; микротвердость увеличивается с уменьшением скорости обработки и диаметра лазерного луча, т.е. с возрастанием плотности мощности обработки, что хорошо сочетается с экспериментальными данными. Однако, при уменьшении диаметра луча менее 3 мм наблюдается переплав покрытия, что в данном случае является нежелательным эффектом. Экспериментально установленный диапазон параметров лазерной обработки МДО покрытий составляет: диаметр лазерного луча 3-8 мм; скорость перемещения лазерного луча 300-1000 мм/мин.

Литература

1. Микродуговое оксидирование (обзор) / И.В. Суминов [и др.] // Приборы. – 2001. – № 9. – С. 13-23.
2. Эпельфельд, А.В. Микродуговое оксидирование / А.В. Эпельфельд // 2-я Всесоюзная научно-техническая конференция «Ресурсо-, энергосберегающие и наукоемкие технологии в машино- и приборостроении» (Нальчик, 21-23 мая 1991 г.): тез. докл. – М.: АТН РСФСР, 1991. – С. 47-48.

3. 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.

4. Тихоненко, В.В. Метод микродугового оксидирования / В.В. Тихоненко, А.М. Шкилько // Вост.-Европ. журнал передовых технологий. – 2012. – №2/13. – С. 13–18.