

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

**Злотников А.И.** - инженер, кафедра «Нефтеразработки и гидронневоавтоматики», Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь, [zlotnikov@gstu.by](mailto:zlotnikov@gstu.by)

**Злотников И.И.** – кандидат технических наук, доцент, кафедра “Физики и электротехники”, Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь, [zlotnikov@gstu.by](mailto:zlotnikov@gstu.by)

**Аннотация.** Статья посвящена разработке светопоглощающих покрытий по технологии микродугового оксидирования. Цель работы - это разработка покрытий получаемых на поверхности алюминиевых сплавов и изучение возможности их использования в качестве светопоглощающих покрытий солнечных коллекторов. Отмечается, что задача разработки светопоглощающих покрытий весьма актуальна и имеет самые различные конкретные применения. Во-первых, это проблема снижения рассеянного светового фона в оптических приборах и приборах индикации современных транспортных средств. Во-вторых – разработка эффективных светопоглощающих покрытий для преобразователей солнечной энергии в тепловую. Процесс микродугового оксидирования алюминиевых сплавов проводили в симметричном анодно-катодном режиме с использованием переменного тока синусоидального напряжения стандартной частоты. Это позволяет использовать обычное промышленное напряжение, не прибегая к преобразователям частоты, что упрощает процесс. В качестве базового электролита использовали силикатно-щелочной раствор, включающий гидроксид калия и силикат натрия, в который добавляли молибденовокислый аммоний. Разработанное покрытие имеет высокую поглощающую способность и обладает высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред. Это хорошо защищает металлический абсорбер коллектора от механических повреждений. Полученные покрытия можно наносить непосредственно на рабочую поверхность абсорбера или на листы алюминиевой фольги. Сделан вывод, что второй способ является более перспективным, так как заранее изготовленные листы фольги с нанесенным покрытием можно наклеивать на нужные участки абсорберов любой конструкции и размеров.

**Ключевые слова:** светопоглощающее покрытие, солнечные коллекторы, технология микродугового оксидирования, абсорбер, анодное окисление металлов.

Среди возобновляемых источников энергии именно солнечная энергия по своим масштабам, экологической чистоте и повсеместной распространенности является наиболее перспективной.

Главным конструкционным элементом любой установки по преобразованию солнечной энергии в тепловую является солнечный коллектор, который представляет собой контейнер, в котором находится так называемый абсорбер – металлическая пластина с циркулиру-

ющим в нем теплоносителем. Для улучшения теплопроводности абсорбер изготавливают не только из стали, но и из алюминия и даже меди. Обращенная к солнцу сторона контейнера закрыта прозрачной пластиной (стекло, пластик), которая пропускает солнечные лучи внутрь коллектора, но отражает обратно инфракрасное излучение с поверхности

адсорбера. Согласно источнику<sup>1</sup> поверхность адсорбера обычно окрашивают черными красками иногда с добавлением сажи. Такие покрытия обладают недостаточной светопоглощающей способностью и неудовлетворительными защитными свойствами и обычно требуют периодического возобновления.

С другой стороны, из патентной литературы известно, что методом микродугового оксидирования (МДО) на поверхности алюминия и его сплавов можно получать черные покрытия с высокими светопоглощающими свойствами, высокой механической прочностью и стойкостью к воздействию неблагоприятных атмосферных факторов<sup>2</sup>.

В связи с этим целью данной работы является разработка и исследование свойств черных покрытий получаемых на поверхности алюминиевых сплавов методом МДО и изучение возможности их использования в качестве светопоглощающих покрытий солнечных коллекторов.

Процесс МДО основан на анодном окислении металлов (алюминия, титана и их сплавов) в растворе электролита (щелочном или кислотном) и является сложным многофакторным процессом, зависящем от состава электролита, токового режима, состава сплава и др. Под действием высокого напряжения на поверхности оксидируемого металла возникают микроплазменные разряды, в результате чего на поверхности образуется оксидно-керамическое покрытие, состоящее преимущественно из оксидов металлов (для алюминиевых сплавов – это оксид алюминия во внутренних ча-

стях покрытия и силикат алюминия во внешних)<sup>3</sup>.

В данном исследовании процесс МДО алюминиевых сплавов проводили в симметричном анодно-катодном режиме с использованием переменного тока частотой 50 Гц. Использование для проведения процесса МДО синусоидального напряжения с частотой 50 Гц позволяет использовать обычное промышленное напряжение, не прибегая к преобразователям частоты, что значительно упрощает процесс. Плотность тока поддерживалась около 5 А/дм<sup>2</sup>, напряжение изменяли в пределах от 0 до 250 В. Проведение процесса при напряжениях более 250В может привести к переходу процесса из микродугового режима в дуговой, что сопровождается разрушением уже сформированного покрытия. В качестве базового электролита использовали силикатно-щелочной раствор включающий гидроксид калия – 2,0 г/л и силикат натрия – 14, в который добавляли молибденовокислый аммоний  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  в количестве 4 г/л. Его введение обеспечивает присутствие в электролите ионов молибдена, которые в процессе формирования покрытия методом МДО внедряются в кристаллическую решетку оксидов алюминия и кремния, изменяя структуру и свойства керамического покрытия, что позволяет получать на алюминии и его сплавах керамические покрытия с выраженным черным цветом и низким коэффициентом отражения видимого света. Окраска оксидно-керамических покрытий в черный цвет согласно проведенным исследованиям обусловлена образованием в объеме материала покрытия силикатов молибдена.

Покрытия наносили на прямоугольные пластины из алюминиевого сплава марки Д16 размером 40x40 мм и

<sup>1</sup> Харченко Н.В. *Индивидуальные солнечные установки* / Н.В. Харченко. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 208 с.

<sup>2</sup> *Электролит для получения черного керамического покрытия на вентилях металлах и их сплавах, способ его получения и покрытие, полученное данным способом: патент 2285066 РФ / А.И. Мамаев, Е.В. Хохряков, П.И. Бутягин. – Оpubл. 10.10.2006.*

<sup>3</sup> Суминов И.В. *Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование)* / И.В. Суминов [и др.]. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.

толщиной 1 мм, подключенные к полюсам регулируемого источника напряжения. Свойства полученных покрытий приведены в таблице (образец 1).

Механические свойства полученных покрытий оценивали по их микротвердости, которую определяли по стандартной методике на приборе ПМТ-3 при нагрузке 2 Н. Оптические свойства характеризовали коэффициентом поглощения света (отношение величины поглощенной световой энергии, к величине световой энергии падающей на поверхность), измерение которого проводили с помощью накладного фотометра модели ФМ-59. Важным показателем светопоглощающих покрытий для гелиоустановок является их селективность – высокая поглощательная способность в диапазоне длин волн солнечного света менее 2 мкм и низкая излучательная способность в инфракрасной области с длиной волны более 2 мкм.

Селективность оценивали на лабораторной установке, в которой свет от рефлектора с лампой накаливания падал на белый экран с отверстием размером 30х30 мм, за которым устанавливали образец с покрытием. Под действием излучения лампы образец нагревался и температуру на его обратной стороне измеряли электрическим термометром. Для исключения потерь тепла обратную сторону образца закрывали теплоизоляцией. Эта температура может служить мерой селективных свойств покрытия.

Такой вывод можно обосновать следующими теоретическими предположениями. Обозначим мощность излучения рефлектора, падающего на единицу площади образца через  $P$ , а поглощательную способность покрытия образца через  $\alpha_s$ , тогда мощность поглощенной энергии будет равна  $P_{\text{пол}} = \alpha_s P$ . Под действием излучения рефлектора образец будет нагреваться пока его температура не достигнет равновесного значения  $T$ , при которой мощности поглощенного и испускаемого излучения  $P_{\text{исп}}$  будут рав-

ны ( $P_{\text{пол}} = P_{\text{исп}}$ ). По закону Стефана-Больцмана  $P_{\text{исп}} = \varepsilon \sigma T^4$ , где  $\varepsilon$  – излучательная способность образца в инфракрасном диапазоне. Следовательно, если  $\alpha_s P = \varepsilon \sigma T^4$ , тогда отношение  $\alpha_s/\varepsilon = \sigma T^4/P$  будет характеризовать селективные свойства покрытия. Так как мощность излучения рефлектора  $P$  во всех опытах была постоянной, то температура  $T$  образца является мерой степени селективности покрытий.

Дополнительного улучшения светопоглощающих свойств удалось добиться путем нанесения на поверхность полученного МДО-покрытия тонкого слоя оксида меди (CuO). Предположительно это может быть связано с особыми полупроводниковыми свойствами кристаллического оксида меди. Для этого готовое покрытие пропитывали водным раствором формиата меди с последующим его разложением при температуре 240-260 °С. При термическом разложении формиата меди на поверхности керамического покрытия выделяется тонкий слой коллоидных частиц меди, которые вследствие их высокой химической активности и наличия высокой температуры очень быстро окисляются с образованием слоя оксида меди, прочно сцепленного с керамической подложкой. Свойства МДО-покрытий модифицированных оксидом меди приведены в таблице (образец 2). Как видно из приведенных данных, наличие на поверхности покрытия оксида меди увеличивает коэффициент поглощения солнечного света и селективные свойства.

С целью еще большего увеличения селективных свойств покрытий было изучено модифицирующее влияние добавок фторопластовой эмульсии Ф-4Д в электролит при проведении МДО. Эмульсию в количестве 5-10 г/л вводили в электролит на конечной стадии формирования покрытия. В результате этого на поверхности керамического покрытия образуется тонкий слой фторопласта и продуктов его термического разложения

микроплазменными разрядами, который как показали исследования, повышает

степень селективности получаемых светопоглощающих покрытий (образец 3).

**Таблица 1 - Сравнительные свойства покрытий**

Характеристика	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Коэффициент поглощения света, %	83-85	90-93	92-96
Равновесная температура, К	298	307	315
Микротвердость, ГПа	8,2	8,1	6,8

Кроме высокой поглощающей способности разработанное оксидно-керамическое покрытие обладает высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред и неблагоприятных атмосферных факторов и очень хорошо защищает металлический абсорбер коллектора от механических повреждений.

Полученные покрытия можно наносить или непосредственно на рабочую поверхность абсорбера (если оборудование и размер адсорбера позволяет

полностью погрузить его рабочую поверхность в электролит) или на листы алюминиевой фольги приемлемых размеров, которой затем можно покрывать нужные участки поверхности. Вторым способом по-видимому является более перспективным, так как заранее изготовленные листы фольги с нанесенным покрытием можно наклеивать на нужные участки абсорберов любой конструкции и размеров.

#### **Список использованной литературы**

1. Суминов И.В. *Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование)* / И.В. Суминов [и др.]. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Харченко Н.В. *Индивидуальные солнечные установки* / Н.В. Харченко. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 208 с.
3. *Электролит для получения черного керамического покрытия на вентильных металлах и их сплавах, способ его получения и покрытие, полученное данным способом: патент 2285066 РФ / А.И. Мамаев, Е.В. Хохряков, П.И. Бутягин. – Опубл. 10.10.2006.*

#### **References**

1. Suminov I.V. *Microarc oxidation (theory, technology, equipment)* / I.V. Suminov [i dr.]. - M.: ECOMET, 2005. - 368 p.
2. Kharchenko N.V. *Individual solar installations* / N.V. Kharchenko. – M.: Energoatomizdat. - 1991. - 208 p.
3. *Electrolyte for obtaining a black ceramic coating on valve metals and their alloys, a method for its preparation and a coating obtained by this method: patent 2285066 RF / A.I. Mamaev, E.V. Khokhryakov, P.I. Butyagin. – Published. 10.10.2006.*

**ПЕРСПЕКТИВАҲОИ ИСТИФОДА ШУДАНИ ТЕХНОЛОГИЯИ  
МИКРООКСИДАЦИОНӢ БАРОИ ГИРИФТАНИ ПУШТАКҲОИ  
РУШОНГУЗОРИИ КОЛЛЕКТОРҲОИ ОҒТОБ**

**Злотников А.И.** — муҳандис, кафедраи коркарди нафт ва гидропневмоавтоматика, Университети давлатии техникии Гомель ба номи П.О. Сухой, Гомель, Ҷумҳурии Беларус, [zlotnikov@gstu.by](mailto:zlotnikov@gstu.by)

**Злотников И.И.** — номзади фанҳои техникӣ, доцент, кафедраи физика ва электротехника, Донишгоҳи давлатии техникии Гомель ба номи П.О. Сухой, Гомель, Ҷумҳурии Беларус, [zlotnikov@gstu.by](mailto:zlotnikov@gstu.by)

**Чакида.** Мақола ба коркарди рӯйпӯшҳои рӯиноӣ дар асоси технологияи оксидшавии микроарки бахшида шудааст. Мақсади кор карда баромадани руйкашхое, ки дар сатҳи хӯлаҳои алюминий ба даст оварда мешаванд ва омӯхтани имкони истифодаи онҳо ҳамчун рӯйпӯшҳои рӯиноӣ барои коллекторҳои офтобӣ мебошад. Кайд карда мешавад, ки вазифаи кор карда баромадани ҷиелҳои рушноидиханда басо ақтуалӣ буда, дорой хусусиятҳои гуногуни конкретӣ мебошад. Аввалан, ин проблемаи кам кардани заминаи нури пароканда дар дастгоҳҳои оптикӣ ва дастгоҳҳои намоишии мошинҳои муосир мебошад. Сониян, кор карда баромадани қабатҳои самарабахши рушноидиханда барои табдилдихандагони энергияи офтоб ба энергияи гарми. Процесси микроарки оксидшавии хӯлаҳои алюминий дар реҷаи симметрии анод-катодӣ бо истифода аз ҷараёни тағйирёбандаи шиддати синусоидаи басомади стандартӣ гузаронида шуд. Ин имкон медиҳад, ки шиддати муътадили саноатӣ бе зарурати конвертерҳои басомад истифода шавад, ки ин процессро осон мекунад. Электролити асосӣ маҳлули силикат-шиораи дорой гидроксиди калий буд, ки ба он молибдати аммоний илова карда шуд. Сарпӯши таҳияшуда дорой иқтидори баланди азхудкунӣ ва ба муҳити ҳашигин хеле тобовар аст. Ин чоҳ абсорбери металлӣ коллекторро аз осеби механикӣ муҳофизат мекунад. Қабати ҳосилишуда метавонад бевосита ба сатҳи абсорбер ё ба варақаҳои фолгаи алюминий татбиқ карда шавад. Хулоса мешавад, ки усули дуҷум умедбахитар аст, зеро варақаҳои фолгаи печонидашуда метавонанд ба минтақаҳои дилхоҳи абсорберҳои ҳама гуна тарҳ ва андоза часпонанд.

**Калидвожаҳо:** қабати рӯиноӣ, коллекторҳои офтобӣ, технологияи оксидшавии микроарк, абсорбер, оксидшавии анодикии металлҳо.

**PROSPECTS FOR USE OF MICROARC OXIDATION TECHNOLOGY FOR  
OBTAINING LIGHT-ABSORBING COATINGS OF SOLAR COLLECTORS**

**Zlotnikov A.I.** - Engineer, Department of Oil and Gas Exploration and Hydro-Pneumatics, Gomel State Technical University, Gomel, Republic of Belarus, [zlotnikov@gstu.by](mailto:zlotnikov@gstu.by)

**Zlotnikov I.I.** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Physics and Electrical Engineering, Gomel State Technical University, Gomel, Republic of Belarus, [zlotnikov@gstu.by](mailto:zlotnikov@gstu.by)

**Annotation.** The article is devoted to the development of light-absorbing coatings based on the technology of microarc oxidation of solar collectors. The purpose of the work is the development of coatings obtained on the surface of aluminum alloys and the study of the possibility of their use as light-absorbing coatings for solar collectors. It is noted that the task of developing light-absorbing coatings is very relevant and has a variety of specific

*applications. Firstly, this is the problem of reducing the scattered light background in optical devices and display devices of modern vehicles. Secondly, the development of effective light-absorbing coatings for converters of solar energy into thermal energy. The process of microarc oxidation of aluminum alloys was carried out in a symmetrical anode-cathode mode using alternating current of a sinusoidal voltage of a standard frequency. This allows the use of normal industrial voltage without the need for frequency converters, which simplifies the process. The base electrolyte was a silicate-alkaline solution containing potassium hydroxide, to which ammonium molybdate was added. The developed coating has a high absorption capacity and is highly resistant to aggressive media. This well protects the collector's metal absorber from mechanical damage. The resulting coatings can be applied directly to the absorber surface or to aluminum foil sheets. It is concluded that the second method is more promising, since prefabricated coated foil sheets can be glued to the desired areas of absorbers of any design and size.*

**Keywords:** *light-absorbing coating, solar collectors, microarc oxidation technology, absorber, anodic oxidation of metals*