

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО ПЛАЗМЕННЫМ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ОКСИДИРОВАНИЕМ НА ДЕТАЛЯХ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПРИПОЕМ ПА-12**

Н. С. ЧЕРНЫШОВ, канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет  
имени Н. В. Парахина»,  
Орел, Российская Федерация

**Введение.** В современной сельскохозяйственной технике множество деталей изготовлено из алюминиевых сплавов, значительная часть которых – это детали двигателей: блоки, головки цилиндров, детали системы охлаждения, которые контактируют с охлаждающими жидкостями и подвергаются коррозии, сочетающейся с кавитацией. Вибрация и температура дополнительно интенсифицируют эти процессы. Совокупным результатом этих воздействий в конечном итоге являются: течи через уплотнения, сквозная и язвенная коррозия, трещины, т. е. преждевременный выход узла или детали из строя [1, 2].

Поверхности деталей, из алюминиевых сплавов, которые контактируют с охлаждающими жидкостями можно защищать, уменьшая агрессивность среды (использование ингибиторов – замедлителей коррозионных процессов) или можно покрывать металлическую поверхность не поддающимся коррозии материалом. Например, оксидно-керамические покрытия, сформированные на алюминиевых сплавах плазменным электролитическим оксидированием (ПЭО), являются химически инертными, не проводят электрический ток, обладают достаточно высокой твердостью и износостойкостью [3–5].

В ремонтном производстве известна технология восстановления деталей из алюминиевых сплавов аргонодуговой наплавкой [6–8], но восстановленные детали характеризуются наличием значительных внутренних напряжений и низкой коррозионной стойкостью. Предлагаемая технология восстановления поверхностей деталей из алюминиевых сплавов высокотемпературной пайкой с последующим упрочнением ПЭО позволяет избавиться от недостатков аргонодуговой наплавки.

При условии обоснованного выбора электролита и электрохимических параметров ПЭО можно получать покрытия, обладающие необ-

ходимой толщиной, высокой твердостью, износостойкостью и коррозионностойкостью [9–13]. Наиболее перспективным электролитом для ПЭО, с точки зрения дешевизны и экологии, является водный раствор на основе гидроксида калия (КОН) и натриевого жидкого стекла ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) [12,13].

**Основная часть.** Практический интерес представляют исследования зависимости изменения толщины покрытия сформированным ПЭО от состава электролита при плотности тока  $20 \text{ А/дм}^2$  и продолжительности оксидирования 2 часа на восстановленных пайках поверхностях.

Для проведения исследований использовали цилиндрические образцы, изготовленные из сплава АК9ч. Выбор материала определяли из того, что указанный сплав широко применяется для изготовления широкой номенклатуры деталей охлаждения двигателей. В качестве припоя использовали алюминиевый припой марки ПА-12 (ТУ 48-17228138/ОПП-020-2003), который применяется для пайки деталей, работающих в коррозионно-жестких условиях [14].

В качестве флюса использовали флюс ФА-40 (ТУ-4817228138/ОПП-019-2003), предназначенный для высокотемпературной пайки алюминиевыми припоями [14].

Для пайки использовали водородно-кислородную установку «Энергия 1,5» и газопламенную горелку с наконечником № 4. Толщина напаянного слоя составляла 1–1,5 мм. Для придания напаянным поверхностям образцов правильной геометрической формы и получения необходимых параметров шероховатости для нанесения покрытия ПЭО их подвергали шлифованию.

Линейные размеры образцов замеряли рычажным микрометром МР-25 ГОСТ 4381-87. Толщину сформированного покрытия определяли с помощью вихретокового измерителя толщины покрытий ВТ-201, предел допускаемой абсолютной основной погрешности ( $\Delta_{\text{осн}}$ ) в микронах не превышает величины:  $\Delta_{\text{осн}} = \pm(0,03S + 1,0)$ , мкм, где  $S$  – измеряемое значение.

Исследования показали, что при увеличении концентрации в растворе электролита натриевого жидкого стекла при постоянных остальных параметрах ПЭО происходит уменьшение внутреннего упрочненного слоя покрытия, а толщины рыхлого и внешнего упрочненного слоев покрытия увеличиваются (рис. 1–3).

Толщина увеличивается за счет натриевого жидкого стекла, а именно катионов  $\text{SiO}^-$ , которые под воздействием микродуговых разрядов внедряются в состав покрытия [12, 13, 15].

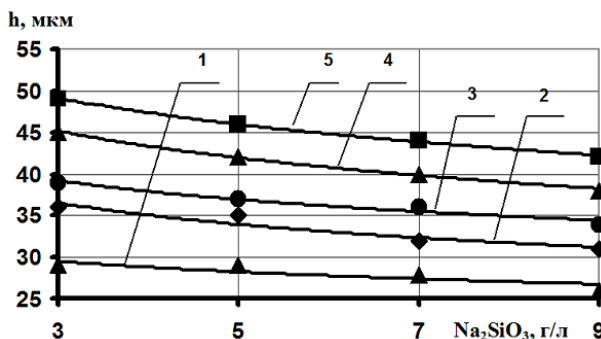


Рис. 1. Влияние концентрации  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  на толщину внутреннего упрочненного слоя покрытия на напаянных поверхностях при  $D_t = 20 \text{ А/дм}^2$ ;  $T = 2 \text{ ч}$ :  
 1 –  $C_{\text{кон}} = 1 \text{ г/л}$ ; 2 –  $C_{\text{кон}} = 2 \text{ г/л}$ ; 3 –  $C_{\text{кон}} = 3 \text{ г/л}$ ; 4 –  $C_{\text{кон}} = 4 \text{ г/л}$ ; 5 –  $C_{\text{кон}} = 5 \text{ г/л}$

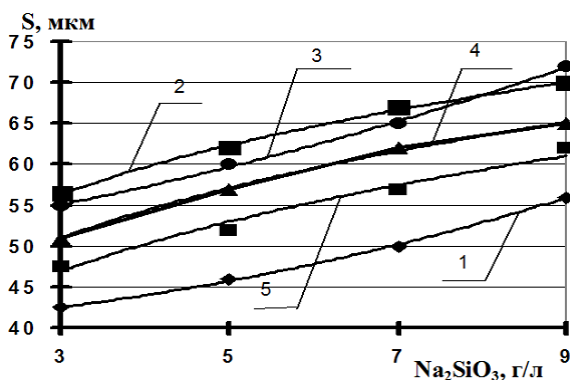


Рис. 2. Влияние концентрации  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  на толщину внешнего упрочненного слоя покрытия на напаянных поверхностях при  $D_t = 20 \text{ А/дм}^2$ ;  $T = 2 \text{ ч}$ :  
 1 –  $C_{\text{кон}} = 1 \text{ г/л}$ ; 2 –  $C_{\text{кон}} = 2 \text{ г/л}$ ; 3 –  $C_{\text{кон}} = 3 \text{ г/л}$ ; 4 –  $C_{\text{кон}} = 4 \text{ г/л}$ ; 5 –  $C_{\text{кон}} = 5 \text{ г/л}$

Увеличение концентрации гидроксида калия в электролите приводит к более глубокому проникновению внутреннего упрочненного слоя в основу, что объясняется более сильным растравливанием поверхности оксидируемого металла при формировании покрытия [13, 15].

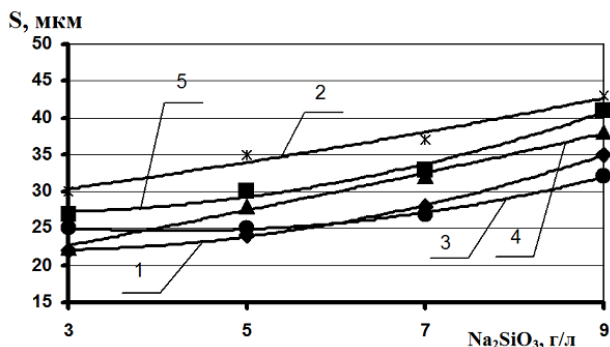


Рис. 3. Влияние концентрации  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  на толщину рыхлого слоя покрытия на напаянных поверхностях при  $D_t = 20 \text{ А/дм}^2$ ;  $T = 2 \text{ ч}$ :  
 1 –  $C_{\text{кон}} = 1 \text{ г/л}$ ; 2 –  $C_{\text{кон}} = 2 \text{ г/л}$ ; 3 –  $C_{\text{кон}} = 3 \text{ г/л}$ ; 4 –  $C_{\text{кон}} = 4 \text{ г/л}$ ; 5 –  $C_{\text{кон}} = 5 \text{ г/л}$

**Закключение.** Учитывая то, что общая толщина упрочненного слоя покрытия, необходимая для обеспечения высокой коррозионной стойкости, должна быть как можно больше [16–18], то, по результатам исследования, для упрочнения напаянных поверхностей припоем ПА-12 сплава АК9ч можно рекомендовать использовать электролит следующего состава, г/л:  $\text{KOH} - 1,8-2,2$ ;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 - 5-7$  и следующие режимы ПЭО: плотность тока  $20 \text{ А/дм}^2$  и продолжительность оксидирования 2 часа.

При вышеуказанных режимах получаемая толщина упрочненного слоя оксидно-керамического покрытия составит 90–110 мкм. При этом внутренний (от действительного размера детали) упрочненный слой составит 30–35 мкм и внешний – 60–70 мкм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Есенберлин, Р. Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой / Р. Е. Есенберлин. – Москва: Транспорт, 1994. – 256 с.
2. Надежность и ремонт машин / В. В. Курчаткин [и др.]; под ред. В. В. Курчаткина. – Москва: Колос, 2000. – 776 с.
3. Технологические методы повышения долговечности деталей машин / Ю. А. Кузнецов [и др.] // Технология металлов. – 2019. – № 5. – С. 34–40.
4. Титов, Н. В. Технологии восстановления и упрочнения деталей машин МДО. Теория и практика: монография / Н. В. Титов, А. В. Коломейченко, В. Н. Логачев. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 148 с.
5. Corrosion tests of oxide-ceramic coatings formed by microarc oxidation / N. S. Chernyshov [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. – 2020. – Т. 61, № 2. – Р. 220–223.

6. Рабкин, Д. М. Дуговая сварка алюминия и его сплавов / Д. М. Рабкин, В. Г. Игнатьев, И. В. Довбищенко. – Москва: Машиностроение, 1982. – 95 с.

7. Сварка и свариваемые материалы: технология оборудования (т. 2) / под ред. В. М. Ямпольского. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. – 574 с.

8. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А. Г. Сулов [и др.]. – Москва: Машиностроение, 2006. – 544 с.

9. Испытания на коррозионную стойкость оксидно-керамических покрытий, сформированных микродуговым оксидированием / Н. С. Чернышов [и др.] // Новые огнеупоры. – 2020. – № 4. – С. 51–55.

10. Повышение ресурса деталей машин пайкой и микродуговым оксидированием: монография / А. В. Коломейченко [и др.]. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2020. – 191 с.

11. Коломейченко, А. В. К вопросу о коррозионной стойкости МДО-покрытий в агрессивных средах / А. В. Коломейченко, Н. С. Чернышов, В. З. Павлов // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 6. – С. 33–35.

12. Коломейченко, А. В. Технологии восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники микродуговым оксидированием / А. В. Коломейченко, Н. В. Титов, В. Н. Логачев. – Орел: Орловский ГАУ, 2013. – 131 с.

13. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И. В. Суминов [и др.]. – Москва: Экомет, 2005. – 368 с.

14. Справочник по пайке / под ред. И. Е. Петрунина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2003. – 480 с.

15. Плазменно-электролитная обработка. Микродуговое оксидирование / А. В. Эпельфельд [и др.]. – Москва: МГТУ, 2020. – 193 с.

16. Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н. П. Жук. – Москва: Альянс, 2006. – 472 с.

17. Саакиян, Л. С. Влияние микродугового оксидирования на коррозионно-механическое поведение литейных алюминиевых сплавов / Л. С. Саакиян, А. П. Ефремов, А. И. Капустник // Физико-химическая механика материалов. – 1990. – Т. 26. – С. 113–115.

18. Сиявский, В. С. Коррозия и защита алюминиевых сплавов / В. С. Сиявский, В. Д. Вальков, Г. М. Будов. – Москва: Металлургия, 1979. – 224 с.

*Аннотация.* В работе представлено влияние на толщину, оксидно-керамических покрытий, сформированных ПЭО на восстановленных пайкой поверхностях, изменение концентрации жидкого стекла в водном растворе электролита на основе КОН и  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Определена концентрация элементов раствора для ПЭО, с целью получения необходимой толщины упрочненного слоя покрытия на деталях из алюминиевого сплава АК9ч, восстановленных пайкой с использованием припоя ПА-12.

*Ключевые слова:* коррозия, восстановление, пайка, плазменное электролитическое оксидирование, состав электролита, толщина покрытия.