

для химико-термической обработки // Весці АНБ. Серыя ФТН. – 1997. – № 3. – С. 13–17.

9. Пантелеенко Ф. И., Константинов В. М. Особенности диффузионных процессов при борировании стальных

порошков // Весці АНБ. Серыя ФТН. – 1997. – № 1. – С. 8–11.

10. Гурченко П. С. Упрочнение при индукционном нагреве и управляемом охлаждении. – Гомель: ИММС НАНБ, 1999. – 193 с.

УДК 621.797

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Канд. техн. наук, доц. САМОЙЛЕНКО А. В., инж. МАКСИМЧЕНКО Н. Н.,
канд. техн. наук ЛЕВАНЦЕВИЧ М. А.

Белорусский национальный технический университет,
Институт надежности машин (ИНДМАШ) НАН Беларуси

В целях повышения надежности и восстановления деталей машин все шире применяются методы поверхностного упрочнения, в частности метод микродугового оксидирования (МДО) [1, 2]. Формирование покрытий методами МДО основано на использовании явления анодно-искрового разряда, который возникает на поверхности детали, погруженной в электролит, в результате подачи электрического напряжения от 100 до 700 В и плотности тока от 1 до 100 А/дм². Искровой пробой анодных оксидных пленок вызывает появление в толще оксида пор, не достигающих поверхности металла. Длительный электролиз в условиях искрения приводит к образованию довольно толстых анодных покрытий, превосходящих по своим свойствам пленки, полученные путем безыскрового оксидирования. В качестве электролита, как правило, используются растворы технического жидкого стекла с добавками гидроксидов щелочных металлов. При постепенном повышении напряжения от 100 до 400 В число разрядов, приходящихся на единицу поверхности, увеличивается. Появляются группы искр, быстро перемещающиеся по поверхности детали-анода. Возникает так называемый распространяющийся разряд, формирующий близкое к обычной керамике покрытие, по толщине значи-

тельно превосходящее традиционные оксидные пленки.

Оксидокерамика образуется из материала поверхностного слоя и поэтому имеет высокие адгезионные свойства, сочетающиеся с высокой твердостью (17...24 ГПа), износостойкостью и коррозионной стойкостью. Получать эти покрытия возможно лишь на так называемых вентильных металлах, включающих алюминий и его сплавы. В настоящее время алюминий и его сплавы широко используют в различных отраслях промышленности, поэтому изучение методов получения оксидных покрытий на алюминиевых сплавах представляет большой интерес.

Известны различные режимы нанесения МДО-покрытий – поляризация постоянным током, импульсный режим, переменного-поляризованный режим (анодно-катодный) и др. Форма поляризационных импульсов и прочие электрические параметры при реализации того или иного режима подбираются эмпирическим путем и в ряде случаев требуют применения достаточно сложных и дорогостоящих источников питания. Поэтому изучение механизма протекающих процессов остается актуальным и может способствовать разработке новых технологических решений.

Чаще всего для упрочнения поверхностей деталей методом МДО применяют источники, реа-

лизующие анодно-катодный и импульсный режимы формирования покрытий. В связи с этим в ИНДМАШ НАН Беларуси были проведены сравнительные испытания по оценке эффективности процессов упрочнения деталей из алюминиевого сплава Д16Т источниками, реализующими импульсный и анодно-катодный режимы. В качестве параметров сравнения были выбраны следующие: толщина покрытия, сформированного в течение установленного промежутка времени, скорость нагрева электролита и удельный расход электроэнергии.

Микродуговому оксидированию подвергали прямоугольные образцы размером $10 \times 10 \times 3$ мм общей площадью $0,03 \text{ дм}^2$. Формирование покрытий производили в электролитах на основе натриевого жидкого стекла (Na_2SiO_3) и гидроксидов натрия и калия (NaOH , KOH), при этом варьировали концентрации как жидкого стекла, так и щелочи. Растворы готовили на дистилляте из реактивов марок ЧДА и ЧХ. Плотность анодного тока при испытаниях выдерживали в пределах $15 \dots 25 \text{ А/дм}^2$.

В ходе испытаний установлено, что скорость нагрева электролита и удельный расход электроэнергии на формирование единицы площади покрытия при анодно-катодном режиме были значительно выше, чем при импульсном. Применение метода МДО в импульсном режиме позволяет варьировать длительностью импульсов и поддерживать тем самым необходимый оптимальный тепловой режим процесса за счет отвода теплоты вглубь анода и (или) электролита в перерывах между токовыми импульсами. Наложение импульса отрицательной полярности через определенное количество импульсов положительной полярности способствует перемещению области микродуговых разрядов по всей поверхности детали, в результате чего получаются равномерные по толщине покрытия. Повышение частоты следования импульсов приводит к увеличению коррозионной стойкости, диэлектрической проницаемости, пробивного напряжения и уменьшению пористости.

При анодно-катодном МДО оксидируемый образец попеременно становится то катодом, то анодом. В первом случае разряд более яркий, температура образующейся плазмы примерно на

1000°C выше, чем во втором. Поэтому анодный разряд горит на покрытии, подогревом катодным разрядом. Это обеспечивает формирование «двухслойных» покрытий: верхний (обращенный к электролиту) слой – рыхлый, мягкий, пористый; внутренний слой – плотный, бездефектный, малопористый (сквозная пористость составляет $0,5 \dots 3 \%$). Толщину внутреннего слоя можно регулировать изменением соотношения амплитудных значений катодного и анодного токов. Считается, что оптимальное соотношение токов I_k/I_a находится в диапазоне $0,5 \dots 1,3$ [3]. При $I_k/I_a < 0,5$ на детали невозможно получить плотный качественный слой, а при $I_k/I_a > 1,3$ разрушительная функция катодного тока без организации специальных условий становится преобладающей.

Анализ полученных результатов показал, что при формировании МДО-покрытий в анодно-катодном режиме упрочненный слой на поверхности детали образовывался во всем диапазоне варьируемых концентраций жидкого стекла и щелочи в электролите, а при формировании покрытий в импульсном режиме – в ограниченном диапазоне концентраций, при этом его толщина существенно зависела от количества составляющих компонентов электролита.

При постоянной концентрации щелочи в электролите покрытие в анодно-катодном режиме формировалось при малых концентрациях жидкого стекла ($4 \dots 10 \text{ г/л}$), в то время как для формирования качественного, достаточно толстого покрытия в импульсном режиме требовались концентрации жидкого стекла порядка $50 \dots 100 \text{ г/л}$. При этом в составе покрытия увеличивается доля стекловидного состояния SiO_2 и происходит отслаивание покрытия.

В процессе использования электролитов на основе гидроксида калия качественные покрытия образовывались как в анодно-катодном, так и импульсном режимах, хотя для метода МДО в импульсном режиме предпочтительнее применять электролиты на основе гидроксида натрия как более универсальные.

Независимо от используемого режима толщина покрытий растет с увеличением времени оксидирования и начальной плотности тока, так как в обоих случаях, несмотря на различные формы поляризующего тока, при одинаковой

плотности тока проходило одинаковое количество электричества (рис. 1).

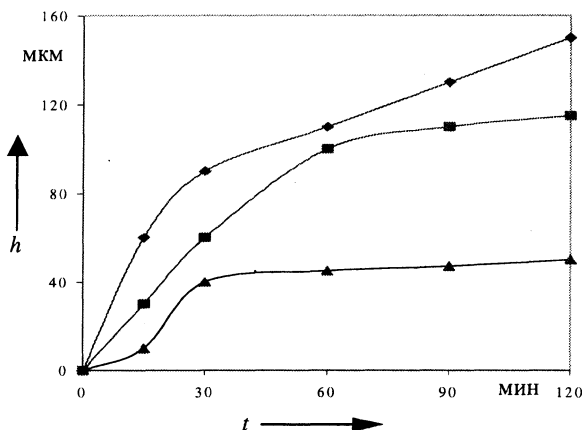


Рис. 1. Зависимость толщины покрытия от времени оксидирования и начальной плотности тока: —◆— $i = 25 \text{ А/дм}^2$; —■— $i = 10 \text{ А/дм}^2$; —▲— $i = 5 \text{ А/дм}^2$

Однако покрытие растет до определенного предела, примерно до 200...300 мкм. Для дальнейшего роста необходимы более мощные дуговые разряды, способные пробить оксидную пленку. Такие разряды приводят к дефектам покрытия в виде пор, наслоений и к разрушению сформированного ранее слоя.

Через 60 мин оксидирования количество пор в покрытиях, сформированных в обоих режимах, становится одинаковым. Несмотря на снижение количества пор в покрытиях, полученных при анодно-катодном режиме, их сквозная пористость со временем возрастает (от 0,25 до 3 %), а при импульсном режиме, наоборот, уменьшается до минимума (от 1,3 до 0,2 %). Это связано с увеличением в покрытии крупных пор, в то время как при импульсном режиме нанесения их количество меньше.

На основании результатов исследований можно сделать вывод, что для повышения ресурса деталей машин за счет упрочнения рабочих поверхностей методом МДО можно успешно применять источники, реализующие как анодно-катодный, так и импульсный режимы. Выбор того или иного режима определяется прежде всего условиями эксплуатации деталей машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черненко В. И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом. — Л.: Химия, 1991. — 128 с.
2. Баковец В. В., Поляков О. В., Долгопсова И. П. Плазменно-электролитическая анодная обработка металлов. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд.-ние. — 1991. — 168 с.
3. Метод дугового оксидирования / Г. А. Марков, В. И. Белеванцев, О. П. Терлесева и др. // Вест. МГТУ. Сер. Машиностроение. — 1992. — № 1. — С. 34–56.

УДК 674.038.6:621.822

НАДЕЖНЫЕ И ЭКОНОМИЧНЫЕ САМОСМАЗЫВАЮЩИЕСЯ ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ТОРЦОВО-ПРЕССОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Канд. техн. наук ВРУБЛЕВСКИЙ В. Б.,
докт. техн. наук ДОВГЯЛО В. А., канд. техн. наук, доц. НЕВЗОРОВА А. Б.

Белорусский государственный университет транспорта

Узлы трения с подшипниками качения сельхозмашин, транспортирующих механизмов (ленточных, цепных) и другого технологического оборудования промышленных предприятий, работающих в абразивных, агрессивных, влажных средах и в воде, корродируют, заклинивают, за-

частую преждевременно выходят из строя. При этом в процессе эксплуатации они требуют регулярного обслуживания и постоянной смазки. В производстве подшипников качения необходимо использование высококачественной стали, специальных станков и энергоемкого термообору-