

**Формирование оксидных покрытий на поверхности  
вентильных металлов с применением высокочастотного импульсного  
микродугового оксидирования**

Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Будницкий А.С.  
Белорусский национальный технический университет

Микродуговое оксидирование (МДО) относится к экологически безопасным процессам, так как позволяет проводить обработку в электролитах с низкой концентрацией неагрессивных компонентов, а также отсутствует необходимость тщательной предварительной подготовки поверхности перед обработкой. Данный вид обработки относится к электрохимическим процессам и отличается от традиционного анодного оксидирования образованием локальных электрических искровых и микродуговых микроплазменных разрядов на обрабатываемой поверхности, в результате чего существенно увеличивается скорость формирования тонкого слоя керамикоподобного пористого покрытия с различным элементным и полифазовым составом [1]. Кроме того, процесс ведется при более высоких напряжениях – до 1000 В, причем чаще используется не постоянный, а переменный и импульсный токи. В особенности отмечается, что биполярный импульсный режим отличается мягкостью, регулируемым соотношением амплитудно-частотных значений катодного и анодного токов, что позволяет получать покрытия с большей толщиной, хорошей структурой и низкой пористостью [2].

Метод микродугового оксидирования широко используется для нанесения покрытий на многие вентильные металлы и их сплавы, в том числе на алюминиевые и титановые, широко применяемые в машиностроении. Недостатками традиционных методов МДО являются большая продолжительность обработки (до 120 мин) для формирования оксидных слоев необходимой толщины с требуемыми свойствами и, соответственно, высокие энергетические затраты. Такая большая длительность процесса традиционной МДО вызвана тем, что толщина формируемого оксидного слоя определяется количеством воздействующих технологических импульсов. Так, рабочая частота традиционного процесса МДО составляет 50 Гц, а технологические импульсы тока следуют с периодом 10 мс.

Решением проблем, связанных с повышением производительности процесса и значительным снижением времени обработки при одинаковой толщине оксидного слоя является предложенный нами метод, основанный на использовании полностью управляемых по амплитуде и длительности разнополярных импульсов напряжения 100–500 В низкой частоты 0,05–1 кГц с одновременным наложением в анодный полупериод технологических импульсов амплитудой 600–1000 В высокой частоты (до 10 кГц). Использование высокочастотных режимов МДО позволяет существенно увеличить количество технологических импульсов тока в единицу времени и существенно уменьшить продолжительность обработки (до 3–4 раз). Использование регулируемой длительности и амплитуды технологических импульсов позволяет управлять потоками энергии в зонах пробоя оксидных слоев. Такого рода технологические режимы перспективны для получения оксидных слоев с низкой шероховатостью ( $R_a$  до 0,2–0,63 мкм) на алюминии и титане.

Дополнительное наложение на чередующиеся низкочастотные импульсы высоких по амплитуде высокочастотных импульсов в анодный полупериод позволяет обеспечить более легкий пробой пленки за счет повышения суммарного тока в этот полупериод, создает благоприятные условия для организации разрядов не только на оксидных пленках с явно выраженными вентильными свойствами, но и на других металлах. Использование высокочастотных импульсов способствует улучшению структуры покрытий, обеспечивает их мелкокристаллическую структуру, приводит к повышению их плотности и микротвердости, уменьшению пористости. При этом высокочастотные импульсы имеют большую амплитуду напряжения, но меньшую мощность, чем низкочастотные импульсы. За счет большей амплитуды именно высокочастотные импульсы инициируют микродуговой процесс в дефектных местах покрытия,

что обеспечивает его более плотное формирование.

Установлено, что при регулировании энергии в каналах пробоя формируемые покрытия отличаются более высокой термостабильностью и высокими значениями электросопротивления по сравнению с покрытиями, полученными без ограничения энергии. Соответственно и другие физико-химические свойства покрытий, сформированные с использованием разработанного метода МДО, также могут контролироваться при регулируемой длительности и амплитуде технологических импульсов, что оказывает влияние на такие конечные характеристики МДО-покрытий, как твердость, пористость, пробойное напряжение и т.д. Эти режимы определяются выходными параметрами источника питания для МДО, определяющими начало и окончание микродугового разряда в каждом периоде.

### Литература

1. Суминов, И. В. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборуд.)/ И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин, Б. Л. Крит, А. М. Борисов — М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Yilmaz M. S., Sahin O. Investigation of the High Energy Single Pulses Affect on Micro Arc Oxidation Process on Aluminium. Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'18). Madrid, Spain – August 16 – 18, 2018.