

6. Kac S., Radziszewska A., Kusinski J. Structure and properties of the bronze laser alloyed with titanium //Applied Surface Science. – 2007. – Т. 253. – №. 19. – С. 7895-7898

7. Sohi M. H. et al. Liquid phase surface alloying of a nickel aluminum bronze alloy with titanium //Surface and Coatings Technology. – 2017. – Т. 325. – С. 617-626.

8. Девойно, О. Г. Повышение износостойкости газотермических покрытий из бронзы БрА7Н6Ф лазерным легированием / О. Г. Девойно, М. А. Кардаполова, А. С. Чаус // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2012. - № 3 (681). - С. 40 - 45.

УДК 691.9.048.4

## ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ АМДО-ПОКРЫТИЙ

*Е.И. Воробьёва, д-р техн. наук., профессор Н.М. Чигринова, ФММП БНТУ, г. Минск*

*Резюме – определены функциональные свойства покрытий, формируемых в процессе АМДО; установлена условная классификация покрытий в зависимости от их функциональных свойств, определены допустимые значения показателей этих свойств; установлена применимость методов контроля конкретных функциональных показателей покрытий; выполнен анализ рекомендуемых методик исследования показателей, направленных на определение функционального назначения АМДО-покрытий.*

*Ключевые слова: АМДО-покрытия, функциональные свойства, показатели, методы контроля*

**Введение.** С целью защиты от воздействия внешних факторов на изделиях из вентильных металлов создают покрытия, используя различные технологии, в том числе анодное микродуговое оксидирование (АМДО). Микродуговое оксидирование – метод получения оксидного покрытия из окисленных форм элементов металла и составляющих электролита в специально создаваемых условиях, в которых за счет высокой напряженности электрического поля на границе раздела основного металла и электролита возникают микроплазменные разряды, благодаря чему происходит пробой тонкой естественной оксидной пленки на обрабатываемой поверхности и металлические ионы взаимодействуют с кислородом воздуха и газом, присутствующим в электролите на водной основе, с формированием оксидных фаз, из которых в течение процесса АМДО и формируется покрытие. Структура и состав АМДО-покрытий определяются условиями их получения, зависят от температуры и времени микродугового оксидирования, а также от материала основы, состава электролита и режима обработки. С помощью микродугового оксидирования, осуществляемого в специально приготовленном составе электролита, на поверхности оксидируемого изделия получают покрытия с определенными функциональными свойствами для использования во многих отраслях промышленности.

**Основная часть.** В научной литературе [1–4] сегодня установлена условная классификация покрытий по типам в зависимости от их функциональных свойств: коррозионностойкие – обеспечивают коррозионную стойкость изделий; износостойкие – обеспечивают стойкость изделий к механическому износу; термостойкие – обеспечивают стойкость деталей и узлов, работающих в условиях высоких температур и термоциклических нагрузок; электроизоляционные – обеспечивают электроизоляционные свойства поверхностей изделий; декоративные – обеспечивают защитно-декоративные и светопоглощающие свойства поверхностей изделий.

Для каждого типа покрытий при их работе в конкретных условиях эксплуатации можно выбрать допустимые значения основных показателей, определяющих их эффективность, которые должны быть закреплены в нормативной документации (таблица 1).

Таблица 1 – Диапазоны значений показателей покрытий, полученных методом АМДО [1]

Тип (функциональные свойства) покрытия	Диапазон значений для показателей качества покрытий							
	Толщина, мкм	Шероховатость, мкм	Пористость, число пор, %	Абразивный износ по методу Табера, индекс убыли массы, мг / 1000 циклов	Термостойкость при термоцикличес- ких испытаниях (температура 280°С), число циклов	Твердость по Виккерсу, НВ	Коэффициент трения	Удельное объемное электрическое сопротивлени е, Ом·м
Коррозионностойкое	10-100	Ra 0,5-2,5	1-2	От 120 до 15	90-100	100-500	0,04-0,6	10-5000
Электроизоляционное	20-200	Ra 0,5-6,0	1-20	От 120 до 20		10-10 <sup>9</sup>		
Износостойкое	20-200	Rz 6,0-40,0	1-25	От 120 до 7		500-2200	0,04-0,7	10-5000
Термостойкое	30-200				500-800			
Твердое	20-500				1000-2200			
Декоративное	15-100	Ra 0,5-1,6	1-8	От 120 до 10	4-100	500-2200		

Однако микродуговые покрытия многофункциональны и в той или иной степени могут выполнять все перечисленные функции. Преобладание того или иного свойства в покрытии определяет его основное функциональное назначение и работоспособность изделия с таким покрытием в конкретных эксплуатационных условиях. Для установления параметров созданного покрытия существует множество методов разрушающего и

неразрушающего контроля. Сравнительный анализ работоспособности каждого типа сформированных покрытий можно проводить по показателям, отмеченным знаком «+» в таблице 2. Однако для наиболее объективной оценки функциональных способностей покрытий целесообразно применять все виды контроля, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Применяемость контроля для конкретных показателей покрытий

Наименование показателя	Применяемость контроля для покрытий типа					
	коррозион- нстойкое	износостойкое	термостойкое	твердое	электроизоля- ционное	декоративное
Внешний вид	+	+	+	+	+	+
Толщина	+	+	+	+	+	+
Шероховатость	+	-	-	-	-	+
Пористость	+	-	-	-	-	-
Прочность сцепления	+	+	+	-	+	+
Коррозионная стойкость	+	-	-	-	-	-
Абразивный износ	-	+	-	+	-	-
Термостойкость	-	-	+	-	-	-
Твердость	-	+	-	+	-	-
Коэффициент трения	-	+	-	-	-	-
Удельное объемное электрическое сопротивление	-	-	-	-	+	-
Электрическое пробивное напряжение	-	-	-	-	+	-
Степень поглощения видимого спектра излучения для черных покрытий	-	-	-	-	-	+

Внешний вид и толщину контролируют при получении любого типа покрытий.

*Внешний вид* оценивают осмотром поверхности покрытия. Поверхность изделия после получения покрытия должна быть сплошной, без трещин, отслоений (вздутий), сколов, следов коррозии, однородного цвета. При этом: для белого покрытия при его толщине более 100 мкм допускается наличие зеленоватого оттенка; для покрытий на поверхностях многокомпонентных и литейных сплавов возможно наличие бликов различных тонов; в покрытиях зеленой цветовой гаммы в зависимости от оксидируемого сплава возможны вкрапления – более темные или светлые точки и пятна на поверхности, что, однако, не является признаком их разрушения; для черного покрытия допускается наличие темно-синего оттенка.

*Толщина* покрытия – расстояние по нормали между поверхностью основного металла и поверхностью внешнего слоя покрытия. Её определяют методом вихревых токов или с помощью специальных толщиномеров типа «Константы-5» или любых других устройств для контроля толщины неметаллического слоя. Критерием является показатель толщины, которая должна быть не менее ее минимальной величины, установленной в нормативной документации на изделие в любой измеряемой точке, с учетом абсолютной погрешности измерения.

*Равнотолщинность* покрытия фиксируют по разности максимальной и минимальной толщины в измеряемых точках, отнесенной к ее среднеарифметическому значению, что должно укладываться в установленный допуск [1]. Превышение максимальной толщины покрытия не является браковочным признаком, если это не влияет на сборку и работоспособность изделия. В отверстиях, пазах, вырезах, на вогнутых участках сложнопрофилированных деталей, на внутренних поверхностях и местах сопряжения неразъемных сборочных единиц допускается уменьшение толщины покрытия до 50% [2].

Величина *шероховатости и пористости* покрытия для некоторых типов функциональных покрытий представляется косвенной характеристикой, но, тем не менее, они часто влияют на такие показатели поверхности, как коррозионная стойкость, прочность сцепления (адгезия), абразивный износ, трение.

Рекомендуемые методики исследования функциональных признаков, изложенные в [3, 4], сегодня могут быть дополнены более современными приемами изучения качественных и иных характеристик обработанных разными методами поверхностей, основанными на использовании высокоточных приборов и инструментов, компьютерных технологий и прикладных программных средств, реализующих различные задачи обработки данных, их анализа и синтеза. Так, например, исследование пористости покрытия возможно с использованием методики сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, методики семейства сканирующей зондовой микроскопии [5] и др.

**Заключение.** Представление о функциональных свойствах покрытий, полученных, в том числе методом АМДО, и о рекомендуемых методах контроля их показателей позволяет сократить количество вариантов их изучения, гарантируя при этом достоверность полученных данных по определению функционального назначения и работоспособности изделий с такими покрытиями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 9.318–2013 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия нанокристаллические неметаллические неорганические, полученные методом микродугового оксидирования на алюминии и его сплавах. Общие требования и методы контроля.

2. ГОСТ 9.301–86 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования.
3. ГОСТ 9.302–88 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля.
4. ГОСТ 9.031–74 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия анодно-окисные полуфабрикатов из алюминия и его сплавов. Общие требования и методы контроля.
5. Low dielectric constant materials for microelectronics / К. Маех, М. R. Baklanov, D. Shamiryanyan, F. Iacopi, S. H. Brongersma, Z. S. Yanovitskaya // J. of Applied Physics. 2003. Vol. 93, № 11. P. 8793–8841.

УДК 615.454.1; 62.976

## УСТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА СВЕРХТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ЛАБОРАТОРНОЙ БИСЕРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

*К.Р. Грининг, Р.В. Гордейчук., канд. техн. наук, доцент О.О. Губеня,  
Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина*

*Резюме – было проведено экспериментальное исследование процесса сверхтонкого измельчения в лабораторной бисерной мельнице, цель которого – определить избыточный расход энергии процесса измельчения при условии охлаждения системы «бисер-продукт».*

*Проанализированы результаты исследования, определен расход избыточной энергии, а также рассчитана удельная энергия на протяжении всего времени эксперимента. Даны рекомендации касательно снижения избытка энергии в промышленных масштабах для термолабильных и дорогостоящих компонентов твердой фракции суспензии, сохраняя стандартные параметры процесса измельчения.*

*Ключевые слова: мельница, бисер, суспензия, измельчение, система, энергия, расход.*

**Введение.** В процессе измельчения в бисерных мельницах мягких лекарственных средств, а также декоративной косметики, которые являются концентрированными дисперсными суспензиями, затрачивается энергия, которая включает в себя механическую энергию, которая передается от рабочего органа (вала с дисками) рабочим телам (бисеру), переходит в кинетическую энергию (энергию соударения рабочих тел), в следствии чего рабочие тела измельчают суспензию продукта, энергия, которая расходуется на перемешивание системы «бисер-продукт», энергия непосредственно измельчения твердой фракции суспензии продукта, а так же избыточная энергия, которая выделяется в виде тепла. Цель исследования – определить избыточный расход энергии процесса измельчения при условии охлаждения системы «бисер-продукт».

**Основная часть. Материалы. Касторовое масло фармацевтическое** - натуральный продукт, растительное масло из плодов клещевины обыкновенной, смесь глицеридов трех жирных кислот: касторолевой, линолевой и олеиновой. Прозрачная, густая и вязкая бесцветная или чуть желтоватого цвета жидкость. Свободно растворяется в этиловом спирте (95%). Практически нерастворима в воде и минеральных маслах. Стабильное вещество, а не прогоркнет, если не подвергается чрезмерному нагреванию. При охлаждении до 0° С сгущается. Динамическая вязкость при 20° С – 1000 мПа×с, при 40° С – 200 мПа×с. Температура кипения – 31° С, температура плавления - 12° С, температура замерзания -16° С, относительная плотность при 25° С - 955-968 кг/м<sup>3</sup>. В фармации чаще всего используется в кремах и мазях в концентрации 5-12,4% как составляющая вещество и растворитель для дерматологических мазей, спиртовых жидкостей, линиментов, мазей от обморожения) и в/м инъекций, а также как пластификатор при производстве таблеток и капсул. Входит в состав многих косметических средств т.к. процесс седиментации суспензии значительно замедляется. Кроме того, готовый продукт имеет пониженную плавкость без использования дополнительных стабилизирующих примесей.

**Пигмент красный 120 железоокисный** представляет собой дисперсную систему оксида железа (III) гексагональной структуры (гематит), порошкообразный материал красно-коричневого или темно-красного цвета. Пигмент не растворимый в воде и растительных маслах, светостойкий. Химическая формула Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Влажность менее 1%. рН водной вытяжки 3,5-7. Насыпная плотность 1,0-1,1 г/см<sup>3</sup>. Плотность 5,0-5,1 г/см<sup>3</sup>. Форма частичек сферическая. Преобладающий размер частичек 0,11 μm (согласно спецификации производителя).

**Методы.** Были использованы следующие установки:

**Бисерная мельница лабораторная.** Оснащена тремя емкостями (стаканами) с рубашкой и пробоотборник на крышке стакана. Рабочий орган состоит из вала, на котором закреплены 4 направляющие диски с 4-мя симметрично расположенными отверстиями диаметром 1 см. Вал с дисками крепится к ротору двигателя через шпоночное соединение. Рабочие тела - стеклянный бисер диаметром 2 мм. Измельчение происходит мокрым способом (в присутствии растворителя) за счет взаимодействия бисера друг с другом, со стенками рабочей камеры и дисками на валу, который и приводит в движение всю систему. Двигатель работает под напряжением 380 В с силой тока 1,0 А с частотой оборотов ротора 1350 об/мин.

**Электронный термометр ТРМ-10.** Диапазон измерения температур от -50° С до +100° С. Дискретность измерения 0,1° С. Погрешность измерения max 2%. Установлено 2 датчика на вход и выход воды из рубашки рабочей камеры.

Бисерная мельница работала с охлаждением, показания приборов снимали на протяжении 62 минут. Масса продукта составляла 250 грамм (50 г пигмент и 200 г масла), а расход воды - 0,0083 кг/с.

Схема установки представлена на рис.1.