

УДК 621.791.75

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКСИДИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ОКСИДИРОВАНИЯ

© 2013 И.С. Пономарев¹, Е.А. Кривоносова¹, А.И. Горчаков²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет

²Пермская государственная сельскохозяйственная академия

Поступила в редакцию 18.10.2013

В данной статье рассматривается метод упрочнения поверхности алюминиевого сплава АМг6 с помощью метода микродугового оксидирования. Показано влияние различных параметров оксидирования, таких, как состав электролита, электрический режим и форма тока на механические характеристики полученного оксидного покрытия. Проведен анализ результатов экспериментов.

Ключевые слова: *микродуговое оксидирование, микротвердость, толщина оксидного слоя, алюминиевый сплав АМг6, пористость, состав электролита, режим оксидирования*

Технический прогресс в области машиностроения неразрывно связан с повышением технологичности изготавливаемых изделий, качество которых, в основном, зависит от применяемых материалов. Основными требованиями к материалам являются высокая износостойкость, коррозионная стойкость, прочность, а также малый удельный вес. Во многих сферах промышленности используются алюминиевые сплавы, однако их низкая поверхностная прочность, малая износостойкость и высокая химическая активность ограничивает область их применения. Для повышения характеристик алюминиевых сплавов существует достаточное количество методов модификации поверхностного слоя, таких, как анодирование, напыление, металлизация и микродуговое оксидирование. Главным критерием выбора метода получения необходимого покрытия с заданными свойствами является низкая себестоимость работ и технологического процесса. Наиболее всего данным критериям отвечает метод микродугового оксидирования. Процесс оксидирования схож с методом анодирования, но отличается использованием микрозарядов на поверхности детали, помещенной в электролит, представляющими собой одновременно искровой, микродуговой и микроплазменный процесс [1]. В статье показано влияние различных режимов оксидирования и состава электролита на механические характеристики оксидированной поверхности детали.

*Пономарев Илья Сергеевич, аспирант
Кривоносова Екатерина Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры «Сварочное производство и технология конструкционных материалов». E-mail: katerinakkkk@mail.ru
Горчаков Александр Иванович, кандидат технических наук, профессор*

Для исследования влияния были проведены две группы опытов: 15 образцов на исследование толщины и микротвердости, и 3 – на исследование микротвердости и пористости. Исследования проводились на образцах алюминиевого сплава марки АМГ-6. После оксидирования были подготовлены микрошлифы. Измерения толщины проводились с помощью профессиональной программной среды «Видео-Тест» на компьютере, подключенном к металлографическому микроскопу МИМ-8 через фотокамеру «ProgRes C10 plus». Микротвердость покрытия по Виккерсу проводилось посредством замеров отпечатков, выполненных на твердомере «ПМТ-3М». Свойства оксидированных покрытий (микротвердость рабочего слоя и подслоя, толщина покрытия) и режимы процесса оксидирования (время и состав электролита) приведены в табл. 1.

Наименьшей толщиной 122 мкм согласно данным табл. 1 обладает покрытие на образце 1, полученное при минимальном времени оксидирования (10 мин.) и составом электролита с минимальным количеством изопропилового спирта. Максимальная толщина покрытия (235 мкм) была получена на образце 10 при максимальном времени оксидирования 30 мин в смеси перекиси водорода и спирта. Средняя толщина покрытия образцов при длительности микродугового оксидирования 10 мин составляет 140-150 мкм, при выдержке 20 минут – 170 мкм. Максимальное время оксидирования 30 мин позволило получить толщину покрытия не менее 180 мкм. Графически зависимость толщины и твердости от времени выглядит следующим образом (рис. 1).

Таблица 1. Свойства оксидированных покрытий и режимы процесса оксидирования алюминия

№ обр	Режим оксидирования и состав электролита			Свойства покрытия		
	время оксидирования t, мин	концентрация изопропилового спирта, г/л	концентрация перекиси водорода, г/л	средняя толщина рабочего слоя h _{ср} , мкм	микротвердость подслоя HV _{п.с.} , Н/мм ²	микротвердость рабочего слоя HV _{с.} , Н/мм ²
1	10	15	100	122	1020	2460
2	10	25	50	203	3200	2220
3	10	25	150	133	2520	2530
4	10	35	100	207	3680	2510
5	20	15	50	192	1740	3110
6	20	15	150	226	1870	3660
7	20	25	100	204	2530	2930
8	20	25	100	198	1360	2700
9	20	25	100	201	1090	3500
10	20	35	50	237	1530	3550
11	20	35	150	190	1000	2910
12	30	15	100	188	1100	1640
13	30	25	50	226	2050	3140
14	30	25	150	235	2640	1710
15	30	35	100	186	2020	2320

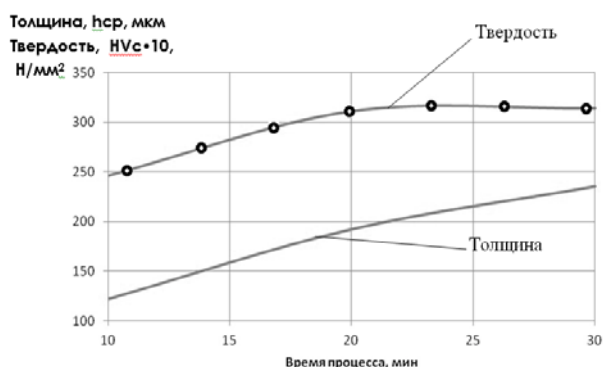


Рис. 1. Зависимость толщины и твердости от времени оксидирования

Для исследования микротвердости использовалась вторая группа образцов. Изменяемым параметром являлся состав электролита, состоящего из дистиллированной воды и следующими группами веществ:

- обр. №1: КОН – 4 г/л, Na₂SiO₃ – 3 г/л, этил.сп. – 100 г/л, из.сп. – 25 г/л;
- обр. №2: КОН – 4 г/л, Na₂SiO₃ – 3 г/л;
- обр. №3: КОН – 4 г/л, Na₂SiO₃ – 3 г/л, из.сп. – 25 г/л.

Результаты исследований приведены в табл. 2. По данным табл. 2 была составлена графическая зависимость микротвердости поверхности, образованной в ходе микродугового оксидирования (рис. 2).

По результатам эксперимента можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние на микротвердость оксидированного слоя оказывает наличие КОН и Na₂SiO₃ электролитов. При использовании электролитов КОН и Na₂SiO₃ обеспечивается пористость с объемной долей

пор ~1,9%. Поры размером до 10 мкм распределены по всей толщине оксидированного слоя, а более крупные сосредоточены ближе к поверхности. Добавление в электролит этилового и изопропилового спиртов позволяет снизить объемную долю пор до ~0,8-1,0% и количество крупных пор к минимуму. Также можно отметить, что местоположение пор небольших размеров больше сосредоточено к границе Ме-оксидный слой.

Таблица 2. Распределение микротвердости по толщине

Отпечатки	HV, Н/мм ²			S, мм
	1	2	3	
1	75	75	75	-0,261
2	371	316	90	-0,17
3	493	350	334	-0,05
4	2953	1509	3185	0
5	2615	7060	3166	0,021
6	2920	9005	4097	0,028
7	2723	9767	3487	0,031
8	3203	9767	3092	0,035
9	3021	9567	3444	0,042
10	3110	10863	3281	0,052
11	2970	9005	3242	0,062
12	3598	9767	2380	0,069
13	-	9767	2043	0,08
14	-	9095	1361	0,088
15	-	7123	-	0,094
16	-	7123	-	0,103
17	-	5551	-	0,108
18	-	2480	-	0,13

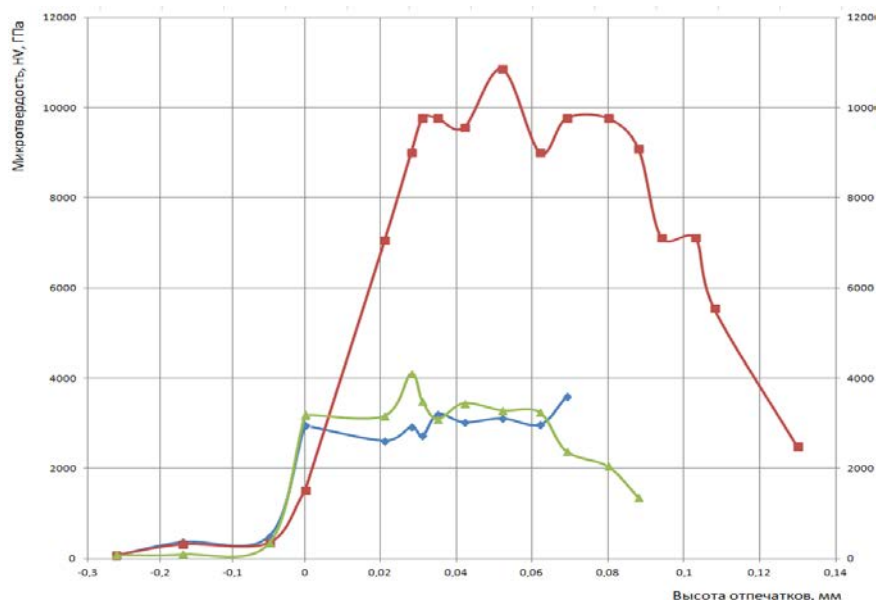


Рис. 2. Изменение микротвердости по толщине: ♦ - обр. № 1, ■ - обр. № 2, ● обр. № 3

Кроме изучения влияния состава электролита и времени оксидирования на свойства оксидного слоя было проведено исследование различных схем включения конденсаторного источника питания и влияния формы тока и значения напряжения на оксидный слой детали. В частности, в первом случае использовался конденсаторный источник питания со схемой включения, показанной на рис. 3.

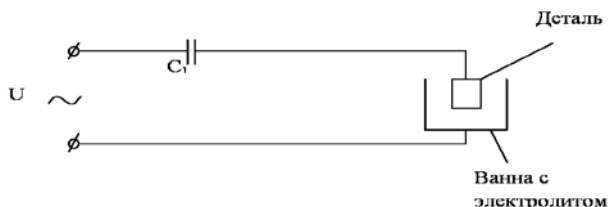


Рис. 3. Принципиальная схема источника питания № 1

Первая схема ИП позволяет проводить оксидирование на «мягком» режиме, то есть с плавным началом микродугового процесса. Фактически детали, оксидирование которых проводилось с помощью ИП с данной схемой, получали равномерное покрытие за счет плавного течения процесса. Напряжение между анодом и катодом не превышало 350-400 В. Длительность процесса оксидирования образцов составляло около 30 минут. Для повышения мощности ИП и скорости микродугового оксидирования была составлена вторая схема источника питания (рис. 4). Эта схема предназначена для анодного микродугового оксидирования с «жестким» началом процесса.

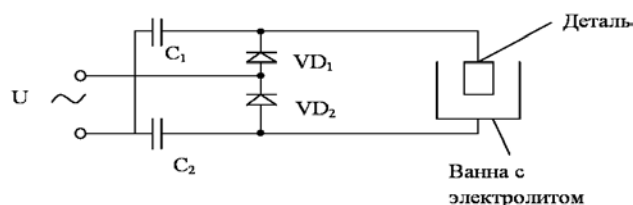


Рис. 4. Принципиальная схема источника питания № 2

За счет умножения напряжения с помощью конденсаторных батарей (C_1 и C_2) и выпрямительных диодов (VD_1 и VD_2) процесс оксидирования начинался практически сразу. Напряжение между анодом и катодом составляло в среднем 400-450 В., в частности, из-за выпрямления напряжения диодами VD_1 и VD_2 . Процесс оксидирования при работе с данным ИП являлся менее стабильным, чем с первым, на поверхности образцов часто возникали дуговые разряды. Кроме процесса микродугового оксидирования в ванне с электродом также имел место процесс анодирования. Время оксидирования при работе источника питания по схеме рис. 4 составило около 20 минут. Поверхность образцов имела неравномерное покрытие и следы разрушения покрытия там, где возникали дуговые разряды.

Выводы:

1. По результатам эксперимента было выявлено, что повышение содержания перекиси водорода по отношению к изопропиловому спирту (но не больше 100 г/л) и времени оксидирования приводит к повышению микротвердости и толщины оксидного слоя.

2. По результатам измерений пористость значительно снижает среднее значение микротвердости оксидированной поверхности, в частности, около поверхности, где она выше.

3. Качество поверхности оксидного покрытия выше при работе на «мягких» режимах и переменном напряжении. Повышенное напряжение и выпрямленный ток уменьшают стабильность микродугового процесса и увеличивают количество дефектов на поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Суминов, И.В. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов, А.В. Эпельфельд и др. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. 368 с.
2. Горчаков, А.И. К вопросу образования пор в покрытиях при микродуговом оксидировании / А.И. Горчаков, Е.А. Кривоносова // Тяжелое машиностроение. 2008. № 7. С. 26-29.
3. Горчаков, А.И. Кинетические закономерности формирования покрытий на сплавах алюминия при микродуговом оксидировании / А.И. Горчаков, Н.М. Бородин, Е.А. Кривоносова // Машиностроение и материаловедение. Вестник ПГТУ. 2010. №5. С. 78-86.
4. Кривоносова, Е.А. Фрактальный анализ структурообразования покрытий при микродуговом оксидировании / Е.А. Кривоносова, О.А. Рудакова, А.И. Горчаков, Н.М. Бородин // Сварка и диагностика. 2010. № 1. С. 37-41.
5. Харитонов, Л.Г. Определение микротвёрдости. – М., Металлургия. 1967. С. 20-45.
6. Дунькин, О.Н. Влияние параметров микродугового оксидирования на свойства покрытий, формируемых на алюминиевых сплавах / О.Н. Дунькин и др. // ФХОМ. 2000. №2. С. 49-53.

MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE OXIDIZED SURFACE AT VARIOUS MODES OF OXYDIZING

© 2013 I.S. Ponomarev¹, E.A. Krivonosova¹, A.I. Gorchakov²

¹ Perm National Research Polytechnical University

² Perm State Agricultural Academy

In this article the method of hardening the surface of aluminum alloy AMg6 by means of microarc oxidizing method is considered. Influence of various parameters of oxydizing, such as composition of electrolyte, electric mode and current form on mechanical characteristics of the received oxide-coated covering is shown. The analysis of results of experiments is carried out.

Key words: *microarc oxydizing, microhardness, thickness of oxide layer, aluminum alloy AMg6, porosity, composition of electrolyte, oxidizing mode*

Iliya Ponomarev, Post-graduate Student
Ekaterina Krivonosova, Doctor of Technical Sciences, Professor
at the Department "Welding Production and Technology of
Constructional Materials". E-mail: katerinakkkk@mail.ru
Alexander Gorchakov, Candidate of Technical Sciences, Professor