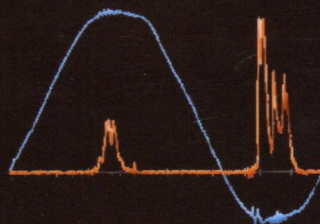
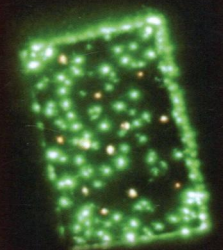
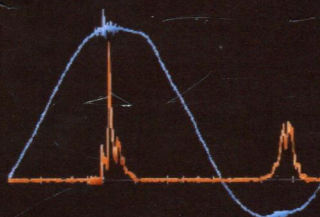
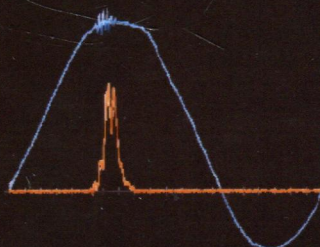


**А.Г. Ракоч**  
**А.А. Гладкова**  
**А.В. Дуб**

# **Плазменно-электролитическая обработка алюминиевых и титановых сплавов**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»

Кафедра защиты металлов и технологии поверхности

А.Г. Ракоч

А.А. Гладкова

А.В. Дуб

# **Плазменно-электролитическая обработка алюминиевых и титановых сплавов**

Монография



Москва 2017

УДК 621.785:621.357:669.71:669.295  
P193

Рецензенты:

проф., д-р техн. наук *В.Н. Малышев* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина);  
проф., д-р техн. наук *Н.А. Белов* (НИТУ «МИСиС»)

**Ракоч А.Г.**

P193 Плазменно-электролитическая обработка алюминиевых и титановых сплавов: моногр. / А.Г. Ракоч, А.А. Гладкова, А.В. Дуб. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2017. – 160 с.  
ISBN 978-5-906846-51-8

Представлены данные, имеющиеся в научной литературе, необходимые для разработки высокопроизводительных способов получения методом плазменно-электролитической обработки (ПЭО) износостойких и антикоррозионных декоративных покрытий на основе алюминиевых и титановых сплавов, а также технологические режимы их получения методом ПЭО на этих сплавах. Особое внимание уделено влиянию состава алюминиевых сплавов и природы электролитов, концентрации компонентов в них на свойства формируемых покрытий; механизму влияния катодной составляющей переменного тока на фазовый состав и свойства формируемых покрытий; условиям протекания процессов ПЭО в основном по механизму оксидирования металлической основы или по механизму электролиза с последующей термохимической обработкой осажденных полианионов или анионов на участках покрытия, расположенных близко к плазменным микроразрядам, или одновременному росту покрытий по этим механизмам; кинетическим особенностям роста покрытий на основе алюминиевых и титановых сплавов на различных этапах проведения процессов ПЭО; условиям проведения процессов ПЭО, соблюдение которых позволяет получать износостойкие покрытия с небольшой толщиной внешнего пористого слоя.

Монография предназначена для специалистов в области наукоемких технологий, использующих изделия из алюминиевых и титановых сплавов в агрессивных условиях, а также для аспирантов и магистрантов, изучающих процессы плазменно-электролитической обработки сплавов.

УДК 621.785:621.357:669.71:669.295

© А.Г. Ракоч,  
А.А. Гладкова,  
А.В. Дуб, 2017

ISBN 978-5-906846-51-8

© НИТУ «МИСиС», 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	6
1. Кинетика и предлагаемые механизмы протекания процессов плазменно-электролитического оксидирования алюминиевых сплавов, строение и фазовый состав покрытий .....	8
1.1. Модельные представления о механизме плазменно-электролитического оксидирования алюминиевых сплавов .....	8
1.2. Строение, элементный и фазовый состав покрытий, сформированных после плазменно-электролитического оксидирования алюминиевых сплавов.....	17
1.3. Кинетические особенности роста покрытий в основном по механизму оксидирования (ПЭОк) алюминиевых сплавов при их ПЭО в щелочно-силикатных электролитах .....	27
2. Влияние формы тока и комбинированных электрических режимов на кинетику роста плазменно-электролитических покрытий на поверхности алюминиевых сплавов.....	37
2.1. Механизм влияния катодной составляющей тока на кинетику роста плазменно-электролитических покрытий .....	37
2.2. Влияние формы тока и комбинированных электрических режимов на кинетику роста плазменно-электролитических покрытий и их предельную толщину .....	40
3. Влияние растворенных оксидов двухвалентных металлов в покрытиях на основе оксида алюминия на их фазовый состав, износостойкость и толщину внешних пористых слоев.....	52
3.1. Фазовый состав, износостойкость и толщина внешних пористых слоев, сформированных на алюминии (99,99 %) и сплавах Al – 3,7 % мол. Со; Al – 3,1 % мол. Си способом плазменно-электролитического оксидирования.....	52
3.2. Получение декоративного износостойкого покрытия способом плазменно-электролитического оксидирования на сплаве Д16.....	60
3.3. Гипотетический механизм влияния оксидов двухвалентных металлов на изменение фазового состава, микротвердости и износостойкости покрытий на основе оксида алюминия, сформированных после проведения процессов ПЭОк .....	62

4. Способы электролизно-плазменно-термохимической обработки алюминиевых сплавов, позволяющие получать антикоррозионные покрытия на основе аморфного SiO <sub>2</sub> при низких затратах электроэнергии .....	68
4.1. Способ электролизно-плазменно-термохимической обработки алюминиевых сплавов в водных растворах, содержащих более 100 г/л ТЖС .....	68
4.2. Комбинированные режимы электролизно-плазменно-термохимической обработки сплава Д16, позволяющие получать толстые (более 45 мкм) покрытия на основе аморфного SiO <sub>2</sub> на сплаве Д16 .....	75
5. Энергосберегающий бесконтактный плазменно-электрохимический способ получения покрытий с заданными функциональными свойствами на легких конструкционных сплавах .....	80
5.1. Энергосберегающий плазменно-электрохимический метод одновременного получения различных по свойствам покрытий на разных участках поверхности образцов или изделий из легких сплавов .....	80
5.2. Примеры реализации плазменно-электрохимического бесконтактного метода .....	84
5.3. Автоматизированный энергосберегающий бесконтактный способ получения покрытий на лентах или проволоках из алюминия или сплавов на его основе с заданными функциональными свойствами .....	91
6. Плазменно-электролитическая обработка титановых сплавов .....	94
6.1. Модельные представления о механизме протекания процессов ПЭОк титанового сплава .....	94
6.2. Структура, состав и свойства покрытий, получаемых на титановых сплавах методом плазменно-электролитического оксидирования в щелочно-алюминатных электролитах .....	99
6.3. Экспериментальное обоснование состава электролита для проведения исследований по получению износостойких покрытий на сплаве ВТ6 способом плазменно-электролитического оксидирования .....	104
6.4. Кинетические особенности роста покрытий на титановом сплаве ВТ6 при его плазменно-электролитическом оксидировании в щелочно-алюминатном электролите .....	107

6.5. Возможная причина различного фазового состава внешних слоев покрытий, сформированных после плазменно-электролитического оксидирования на алюминиевом сплаве и ПЭО титанового сплава .....	122
6.6. Износостойкость покрытия, полученного на сплаве ВТ6 с пропуском переменного ( $I_a/I_k = 1$ ) тока между электродами .....	125
6.7. Управление фазовым составом покрытий, формирующихся на сплаве ВТ6 при его ПЭО в щелочном водном растворе за счет изменения асимметричности задаваемого тока.....	127
6.8. Увеличение износостойкости поверхности сплава $\gamma$ -TiAl после его ПЭО в щелочно-силикатном и щелочно-алюминатном электролитах .....	136
7. Высокпроизводительные способы получения декоративных черных износостойких покрытий на титановых сплавах .....	141
7.1. Способ получения декоративных черных износостойких покрытий на сплаве ВТ6.....	141
7.2. Механизм получения черного покрытия на титановых сплавах способом ЭПТХО.....	144
Библиографический список .....	148