

# **КОНСТРУКЦИОННЫЕ УПРОЧНЯЮЩИЕ КОМПОЗИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ ИЗ МАТРИЧНЫХ УГЛЕРОДНЫХ И МЕТАЛЛОКСИДНЫХ НАНОСТРУКТУР**

Горох Г.Г., Лозовенко А.А., Федосенко В.С.

Белорусский государственный университет информатики и  
радиоэлектроники, Беларусь.

Использование современных конструкционных материалов обычно ограничивается тем, что увеличение прочности приводит к снижению пластичности. Однако более глубокое изучение физики деформационных процессов наноструктурированных материалов показало, что уменьшение их микроструктуры и наноструктурирование приводят к появлению в них новых качеств и созданию новых видов материалов с повышенной прочностью и пластичностью. Проведенные нами исследования при разработке конструкционных композитных покрытий с наполнителями из матричных наноструктур на основе металлооксидных и углеродных материалов показали перспективы для их применения в качестве упрочняющих покрытий на алюминии при изготовлении литых изделий точной формы из цветных сплавов с повышенной износостойкостью и ударной вязкостью, создании наноструктурированных защитных термо- и коррозионностойких покрытий, обладающих повышенной прочностью и низкой воспламеняемостью [1, 2].

В исследованиях в качестве модельной системы для структурирования покрытия были использованы матричные пленочные структуры



самоупорядоченного нанопористого анодного оксида алюминия (АОА), обладающего уникальной периодической ячеисто-пористой структурой. В первом случае такие нанопористые матрицы АОА были модифицированы углеродными наноструктурами (УНС), сформированными методом парофазного осаждения в порах АОА [3]. Композитные покрытия представляли собой пористый каркас из матрицы АОА, который от основания до поверхности заполнен гексагонально упакованными трубчатыми УНС. Вторым вариантом композитного покрытия представляла также пористая матрица АОА со столбиковыми наноструктурами из оксида тантала. Такая наносистема формировалась электрохимическим анодированием двухслойной металлической системы тантал-алюминий [4]. В результате была сформирована на поверхности алюминия планарная беспористая наноструктура, представляющая собой композитную пленку толщиной 1,5 мкм с вертикально расположенными столбиками от основания до поверхности диаметрами 50 нм.

Трибологические и механические свойства столбиково-матричных анодных оксидных композитных пленок проводили с использованием Nano Scratch Tester (NST) и Ultra Nano Hardness Tester (UNHT) CSM Instruments. Скретч-тестером путем линейного царапания кантилевером ST-322 с алмазным наконечником радиусом 2 мкм,двигающимся вдоль поверхности структуры со скоростью 0,01 мм/с, при возрастающей нагрузке на конце кантилевера от 0,1 до 50 мН со скоростью 1 мН/с проводили измерения силы трения, коэффициента трения, устойчивости поверхности, глубины проникновения кантилевера относительно исходной толщины пленки от нагрузки.

Результаты исследований углеродно-оксидных композитных пленок показали, что при максимальной нагрузке 50 мН глубина проникновения алмазной иглы диаметром 2 мкм не превысила 15% от 1,5 мкм пленки после первого прохода и 40% после шестого прохода. Показана нелинейная зависимость силы трения, коэффициента трения, глубины проникновения кантилевера от прикладываемой нагрузки для всех образцов, при этом коэффициент трения слабо изменялся при нагрузках до 20 мН. Установлено, что композитные пленки с наименьшим диаметром УНС обладают наименьшим коэффициентом трения и наименьшей глубиной проникновения кантилевера при максимальной нагрузке, и с увеличением диаметров УНС, коэффициент трения и глубина проникновения возрастают. Композитные углеродно-оксидные пленки АОА/УНС обладают высокими трибологическими и механическими, полезными для практического применения, свойствами.

Результаты исследований композитных матрично-столбиковых анодных оксидных пленок показали, что при максимальной нагрузке 50 мН глубина проникновения алмазной иглы диаметром 2 мкм не превысила 20% от 1,5 мкм пленки после первого прохода и 50% после шестого прохода.



Показана также нелинейная зависимость силы трения, коэффициента трения, глубины проникновения кантилевера от прикладываемой нагрузки. При максимальных нагрузках 50 мН глубина проникновения составила 610 нм. Микротвердость и модуль упругости ( $E_p$ ) составили 7056,2 МПа и 93,5 Гпа, соответственно. Микромеханические характеристики столбиково-матричных наноструктур оказались сопоставимы со свойствами специальной нанокерамики.

Таким образом, разработаны физико-химические основы технологии низкотемпературного синтеза нанокompозитных металлокерамических защитных покрытий значительно превосходящих по износостойкости, прочности и ударной вязкости аналоги с обычной микроструктурой. Повышенные эксплуатационные характеристики нанокompозитных покрытий обусловлены наличием в пористой матрице АОА специфических нитевидных структур, формирующих в системе трехмерные контакты между наночастицами разных фаз. Разработка методов создания нанокompозитных систем с ультрадисперсными металлоксидными и углеродными наноструктурами способствует решению задач получения покрытий на литейных изделиях произвольной формы, обладающих высокой устойчивостью к повышенным температурам, коррозии и механическим воздействиям, химической стойкостью, жесткостью, ударной вязкостью, теплопроводностью.

### **Литература**

1. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / Е. И. Беленя; В. А. Балдин; Г. С. Веденников и др.; Под общ. ред. Е. И. Беленя - М.; Стройиздат, 1986.; 445-448 стр.
2. Дятков С.В., Михеев А.П. Архитектура промышленных зданий. М.: изд-во АСВ, 1998
3. Хапин А.В. Основы проектирования и строительного дела / ВКГТУ. - Усть-Каменогорск, 2003.
4. В. С. Синявский, В. Д. Калинин Коррозионная долговечность алюминиевых сплавов и коррозионностойких сталей в подконструкциях вентилируемых фасадов. //Журнал Стройпрофиль. 12.09.2011. С.- 6-11.