

УДК 621.793.7:621.762

СОЗДАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ
НА БАЗЕ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИФ. И. ПАНТЕЛЕЕНКО, В. А. ОКОВИТЫЙ,
В. А. СИДОРОВ, А. А. ЛИТВИНКОБелорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

С учетом состояния вопроса в области нанесения многослойных теплозащитных и износостойких покрытий обоснованы направления исследований. Задачами разработки являются: совершенствование порошковых материалов, содержащих частично стабилизированный диоксид циркония для плазменного нанесения теплозащитных покрытий; совершенствование порошковых материалов, содержащих оксидную керамику и сплавы на основе никеля для плазменного нанесения износостойких покрытий; отработка технологических параметров плазменного напыления и последующей обработки воздействиями на покрытие компрессионной плазмы; анализ качества полученных по оптимальной технологии защитных покрытий путем исследования их структуры и физико-механических свойств.

Проведены исследования порошков для плазменного нанесения многослойных теплозащитных и износостойких покрытий [1–3]. С применением сканирующей электронной микроскопии изучены форма, рельеф и размер частиц порошков $ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$. Установлено, что эти порошковые материалы характеризуются достаточно сложной формой и рельефом поверхности частиц. Размер гранул порошка диоксида циркония в свободно насыпанном состоянии и диспергированного в ультразвуке находится в пределах 10...70 мкм и 5...60 мкм. Для композиции 60 % ($Al_2O_3-TiO_2$) – 40 % Ni–Cr–Al–Y–Ta эти параметры имеют следующие значения: –10...100 мкм и 0...5 мкм. При обсчете частиц порошка с фотографий на анализаторе изображения определены их гранулометрический состав и средний максимальный диаметр частиц, который характеризуется следующими значениями: $ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$ – 38 мкм; 60 % ($Al_2O_3-TiO_2$) – 40 % Ni–Cr–Al–Y–Ta – 44 мкм. Результаты рентгеноструктурного анализа свидетельствуют о том, что частицы $ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$ содержат преобладающую тетрагональную фазу $Y_{0,15}Zr_{0,85}O_{0,93}$, моноклинную и кубическую фазы ZrO_2 . Элементы, способствующие его износостойкости (фазы $Cr_{1,12}Ni_{2,88}$ твердого раствора на основе никеля, фазы $\alpha-Al_2O_3$, $\gamma-Al_2O_3$, орторомбическая фаза оксида титана TiO_2). Исследованы и оптимизированы технологические параметры плазменного напыления многослойных теплозащитных и износостойких покрытий. Критериями оптимизации служили коэффициент использования напыляемого порошкового материала и структура покрытий. Для многослойного

теплозащитного покрытия $\text{ZrO}_2 + 7\% \text{ Y}_2\text{O}_3$ учитывали также его стойкость к термоциклированию, выбирая режим с повышенной долговечностью нанесенного слоя. При исследовании режимов напыления установлено, что величина КИП, количество термоциклов до разрушения слоя и пористости нанесенных материалов соответственно изменяются в следующих пределах: напыление $\text{ZrO}_2 + 7\% \text{ Y}_2\text{O}_3$ – 0,45 %...0,70 %; 150 %...400 %; 5 %...11 %; 60 % (Al_2O_3 – TiO_2) – 40 % Ni-Cr-Al-Y-Ta – 0,45 %...0,70 %; 5 %...15 %. По результатам исследований режимов напыления выполнена их оптимизация. После этого оптимизированным режимам соответствовали максимальные значения КИП, а пористость покрытий изменялась в более узких пределах: напыление $\text{ZrO}_2 + 7\% \text{ Y}_2\text{O}_3$ – пористость 8 %...10 %; открытая пористость 2,5 %...4,0 %; 60 % (Al_2O_3 – TiO_2) – 40 % Ni-Cr-Al-Y-Ta – 5,1 %...7,5 %; 1,8 %...2,5 %. По результатам исследований структуры и физико-механических свойств нанесенных многослойных покрытий проанализирован механизм формирования теплозащитных и износостойких слоев. При плазменном напылении $\text{ZrO}_2 + 7\% \text{ Y}_2\text{O}_3$ теплозащитные свойства формируются за счет тетрагональной фазы ZrO_2 , микрорастрескивания покрытия в перпендикулярном подложке направлении (сегментации). При напылении 60 % (Al_2O_3 – TiO_2) – 40 % Ni-Cr-Al-Y-Ta износостойкость формируется структурными элементами, обеспечивающими повышенную маслоудерживающую способность покрытий (никель, хром). Необходимые свойства достигаются также за счет оксидных включений в связующем матричном материале, которые обуславливают повышенную твердость нанесенных слоев. Рассмотренный механизм формирования свойств многослойных покрытий при напылении композиционных материалов свидетельствует о том, что имеется возможность улучшения теплозащитных характеристик и износостойкости путем обработки нанесенных слоев воздействиями компрессионной плазмы. Однако подобное утверждение требует экспериментальной проверки, что предусмотрено осуществить на следующем этапе исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пантелеенко, Ф. И.** Формирование многофункциональных плазменных покрытий на основе керамических материалов / Ф. И. Пантелеенко, В. А. Оковитый. – Минск: БНТУ, 2019. – 251 с.
2. Многослойные композиционные плазменные оксидные покрытия на элементах экранной защиты на основе диоксида циркония / В. А. Оковитый [и др.] // Наука и техника. – 2017. – Вып. 5. – С. 422–431.
3. Формирование плазменных порошковых покрытий из металлокерамики с последующим высокоэнергетическим модифицированием / В. А. Оковитый [и др.] // Наука и техника. – 2020. – Вып. 6. – С. 469–474.