ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/367

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПЛЕНОК ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО МАТЕРИАЛА С ТЕРМОУПРУГИМИ ФАЗОВЫМИ ПРЕВРАЩЕНИЯМИ FeNiCoAlW , ПОЛУЧЕННЫМИ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

¹Бледнова Ж.М., ¹Барышев М.Г., ²Бузько В.Ю., ¹Балаев Э.Ю.О., ²Горячко А.И.

¹Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

²Кубанский государственный университет, Краснодар

Среди огромного разнообразия высокоэнтропийных сплавов (ВЭС), особый интерес вызывают сплавы с термоупругими фазовыми превращениями (ТУФП), в том числе с эффектом памяти формы (ЭПФ). Эффективность использования материалов с ЭПФ значительно повышается при формировании наноструктурированных поверхностных слоев [1]. Имеется информация о том, что для высокоэнтропийного сплава FeNiCoAlW характерны ТУФП [2], но более подробная информация отсутствует. ВЭС-ы с ТУФП, обладающие обратимыми деформациями, представляют интерес для формирования пленок и покрытий на поверхности изделий, работающих в условиях циклического нагружения. Целью настоящей работы является формирование тонкопленочных покрытий из высокоэнтропийного сплава FeNiCoAlW магнетронным распылением и исследование их структуры и свойств.

Для формирования высокоэнтропийных покрытий используются различные технологии, но наиболее распространенной и более широко изученной является технология формирования тонких пленок и покрытий магнетронным распылением, обладающая широкими возможностями регулирования химического состава пленок как за счет использования специально подготовленных мишеней, так и путем регулирования состава подаваемого в камеру рабочего газа. Для получения высокоэнтропийных пленочных покрытий была изготовлена мишень следующего состава: $\text{Fe}_{40,01}\text{Ni}_{23,58}\text{Co}_{12,82}\text{Al}_{22,82}\text{W}_{0,774}$ (ат. %).

Формирование покрытия осуществляли на установке магнетронного распыления Quorum Q150T ES (Великобритания). Перед осаждением покрытия образцы подвергались ионной очистке бомбардировкой ионами аргона в течение 10-15 минут при напряжении смещения 500 В. После ионной бомбардировки на мишень подавался ток разряда 100 – 200 мА. Процесс напыления покрытия проводился в 3 последовательных этапа со временем напыления 20 минут, 15 минут и 15 минут и сопровождался выбиванием металлических нанокластеров быстрыми ионами аргона с поверхности мишени и осаждением их на поверхности образца. При этом напряжение смещения изменялось в пределах 350 – 450 В.

Исследование структуры покрытий FeNiCoAlW осуществлялось с использованием сканирующего электронного микроскопа «JEOL JSM–7500F». Оценка структуры покрытия при разрезе в торец производилась методом электронной микроскопии в режиме обратно отражённых электронов (режим COMPO). На основании данных электронной микроскопии производилась количественная оценка нанокластеров с помощью программного пакета цифровой обработки и анализа изображений WinROOF2018 (Mitani Visual Co, Япония, https://www.mitani-visual.jp/products/image_analys_ismeasurement/winroof2018/). Оценку элементного состава покрытия осуществляли рентгеноспектральным энергодисперсионным анализом с использованием приставки Oxford Instruments INCA x-sight.

Для оценки эксплуатационных свойств тонкопленочного покрытия FeNiCoAlW производили механические испытания образцов в условиях малоциклового фрикционно-циклического нагружения на четырехпозиционной машине (патент № 2140066). Такие испытания позволили оценить не только способность материала сопротивляться усталостному нагружению и износу, но и косвенно оценить адгезионную прочность покрытия.

При отработке технологии получения высоконтропийного покрытия FeNiCoAlW в качестве параметра выхода рассматривалось сохранение заданного элементного состава.

Секция 11. Перспективные интеллектуальные производственные технологии для создания конструкций и изделий с улучшенными функциональными характеристиками, в том числе для эксплуатации в экстремальных условиях

Оптимальные параметры покрытия обеспечивались при следующих режимах магнетронного распыления: ионный ток -135 мА, напряжение смещения -400В, скорость нанесения покрытия 10 нм/мин, время нанесения покрытия 50 минут, толщина слоя 500 нм.

Исследования микроструктуры методом РЭМ показали, что покрытие является наноструктурированным (рис.1,а,б), монокристаллическим с высокой степенью адгезии, что подтверждено методом съемки в режиме обратно отраженных электронов. На основе анализа энергодисперсионного спектра для различных ориентаций образца с покрытием FeNiCoAlW (рис.1,в,г) определены концентрации химических элементов в покрытии и построены профили их распределения, подтвердившие высокую степень однородности.

Рис. 1. Нанокластеры на поверхности покрытия FeNiCoAlW $\times 100000$ - а), б); $\times 300000$; Область исследования элементного состава и энергодисперсионный спектр покрытия FeNiCoAlW

Эксплуатационные испытания образцов из стали 45 с тонким покрытием FeNiCoAlW, полученным по оптимальным режимам, в условиях фрикционно-циклического нагружения при амплитуде деформации $\varepsilon_a=0,3\%$ показали повышение циклической долговечности на 32% и снижение интенсивности изнашивания на 30% по сравнению с покрытиями, сформированным высокоскоростным газопламенным напылением, обеспечив интенсивность изнашивания $0,15 \cdot 10^{-6}$ Г/м. В процессе испытания растрескивания поверхностного слоя и отслаивания не наблюдалось, что подтверждает достаточно высокую адгезию и эластичность покрытия. Положительные результаты испытаний при фрикционно-циклическом нагружении дают основание рекомендовать полученное магнетронным распылением высокоэнтропийное покрытие FeNiCoAlW для повышения надежности элементов конструкций, работающих в условиях многофакторных воздействий: циклического нагружения и износа. Эффект повышения надежности может более значимым с учетом особых свойств материалов с ТУФП, такими как повышенная демпфирующая способность, трещиностойкость. Это позволяет сделать вывод о том, что тонкопленочные покрытия, полученные магнетронным распылением, могут быть многообещающей заменой традиционным покрытиям из нитридов или карбидов переходных металлов для некоторых специализированных применений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Соглашение № 19-19-00331)

1. Blednova Zh.M., Rusinov P.O. Formation of Surface Layers from Highly Entropic Materials with Shape Memory Effect. AIP Conference Proceedings 2167, 020035 (2019).
2. Patent wo 2014/201239 a2 Systems and methods for tailoring coefficients of thermal expansion between extreme positive and extreme negative values. 12 June 2014.