

образцов с максимальным содержанием азота (серия NN3.n). При рассмотрении данных серии NN основным результатом является выраженный рост растягивающего напряжения с увеличением толщины покрытия и его уменьшение с увеличением концентрации N_2 . Известно, что плотность границ зерен, т. е. размер кристаллитов, оказывает существенное влияние на растягивающую составляющую остаточного напряжения. Чем меньше размер кристаллитов (выше плотность границ зерен), тем больше величина собственных растягивающих напряжений, которые в случае алмазной пленки вызывают снижение остаточных напряжений. Более того, внедрение азота в кристаллическую решетку алмаза приводит к увеличению его параметра и возникновению в кристалле растягивающих напряжений.

Очевидно, что модуль Юнга и твердость уменьшаются с увеличением как метана, так и азота. При этом CH_4 оказывает большее влияние на механические свойства покрытия. Таким образом, увеличение концентрации CH_4 на 7,1 об. % приводит к снижению твердости покрытия на 39,5 ГПа (с 93,78 до 54,24 ГПа), а модуля Юнга на 400 ГПа (с 933,5 до 530,9 ГПа). Увеличение концентрации N_2 в газовой смеси в 3 раза снижает твердость покрытия на 34,8 ГПа, а модуль Юнга на 422,2 ГПа.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

А.С.НОВИКОВА¹, Ю.Ф.ИВАНОВ²

¹ Томский политехнический университет

² Институт сильноточной электроники СО РАН

E-mail: olenevaalex@gmail.com

Аннотация. Показано, что ионно-плазменным методом возможно формирование покрытий из высокоэнтропийного сплава близкого к эквиаtomному составу. Установлено, что ВЭС Ti-Al-Nb-Zr сформирован твердым раствором на основе ниобия и содержит включения (капли) α -Zr и алюминиды титана TiAl.

Введение. Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) – это новый класс металлических материалов, начало исследования которых может быть датировано публикациями 2004 г. [1, 2]. ВЭС обладают уникальным сочетанием механических, трибологических, физических, химических и т.д. свойств. Как правило, ВЭС являются многокомпонентными материалами и содержат несколько (четыре, пять и более) элементов близкой концентрации. Предполагается, что стабилизация твердого раствора при кристаллизации ВЭС обеспечивается высокой энтропией смешения компонентов сплава в жидком состоянии. Авторы работы [3] считают, что ВЭС предлагают новый подход для формирования сплавов и одним из их наиболее многообещающих приложений являются конструкционные материалы. **Целью настоящей работы** является обнаружение и анализа закономерностей формирования структуры и фазового состава высокоэнтропийного сплава, напыленного на подложку ионно-плазменным методом.

Материал и методика исследований. Плёнки ВЭС осаждали с помощью метода плазменно-ассистированного дугового напыления на установке «КВИНТА» (ИСЭ СО РАН. Для напыления используются катоды из циркония, ниобия, а также композиционный катод состава (Ti-Al 50/50) либо (Ti-Al-Si 45/45/10). Циркониевый катод устанавливали на Y-образный фильтр, ниобиевый катод – на дуговой испаритель ДИ100, а композиционный Ti-Al либо Ti-Al-Si катод устанавливали на магнитный фильтр с углом поворота плазменного

потока 120 град. Напыление осуществляли на предварительно полированные подложки, выполненные из твердого сплава WC-8Co.

Исследование морфологии, фазового и элементного состава сплава осуществляли методами сканирующей электронной микроскопии (прибор SEM-515 Philips) и рентгеноструктурного анализа (дифрактометр Shimadzu XRD-7000). Элементный состав сплава исследовали методами микрорентгеноспектрального анализа (микроанализатор EDAX ECON IV, являющийся приставкой к сканирующему электронному микроскопу SEM-515 «Philips»).

Результаты исследования и их обсуждение. Методами микрорентгеноспектрального анализа показано, что формируемый ионно-плазменным методом материал является четырехкомпонентным с близкими атомными весами элементов (рисунок 1б). На поверхности сплава видны частицы капельной фракции, размеры которых составляют сотни нанометров (рисунок 1а). Методами микрорентгеноспектрального анализа «по точкам» было установлено, что частицы капельной фракции могут быть обогащены атомами алюминия, титана и циркония.

Методами рентгеноструктурного анализа выявлены, наряду с дифракционными максимумами от подложки (карбид вольфрама), сложные, размытые на дальних углах, линии от напыляемого сплава, рисунок 2. Учитывая элементный состав ВЭС, полученный сплав можно трактовать, как пересыщенный твердый раствор на основе ниобия (Nb(Zr, Ti, Al)), содержащий включения (капли) α -Zr и алюминиды титана TiAl.

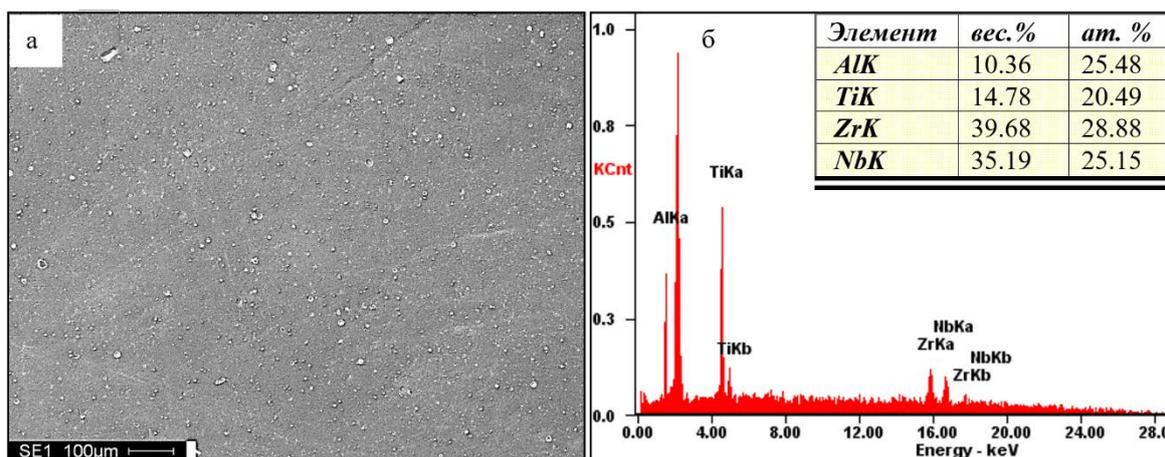


Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение структуры ВЭС (а); б – энергетические спектры, полученные с (а); в таблице приведен элементный состав сплава

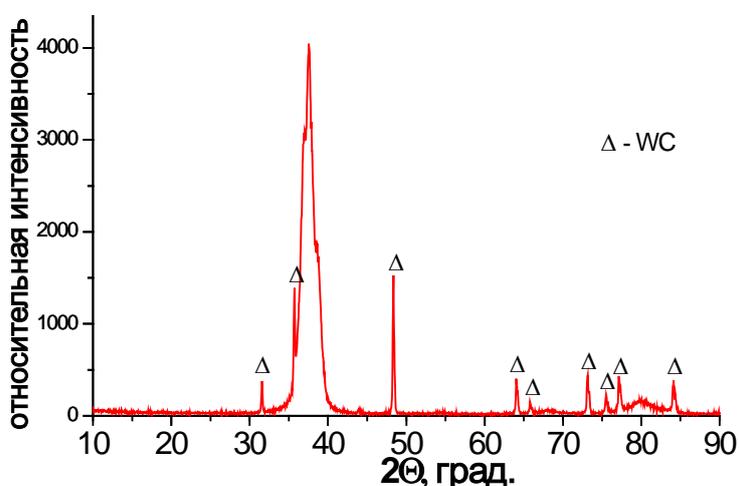


Рисунок 2 - Фрагмент рентгенограммы, полученной с высокоэнтропийного сплава

Заключение. Разработана методика формирования ионно-плазменным методом покрытий из высокоэнтропийного сплава близкого к эквиатомному составу. Показано, что ВЭС Ti-Al-Nb-Zr сформирован твердым раствором на основе ниобия и содержит включения (капли) α -Zr и алюминиды титана TiAl.

Список литературы

1. Cantor B., Chang I.T.H., Knight P., Vincent A.J.B. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys // Mater. Sci. Eng. A – 2004 – 375-377 – P. 213-218.
2. Yeh J.W. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: Novel alloy design concepts and outcomes / J.W. Yeh // Adv. Eng. Mater. 2004. V. 6. P. 299–303.
3. Pickering E. J., Jones N. G. High-entropy alloys: a critical assessment of their founding principles and future prospects // International Materials Reviews. – 2016. - Vol 61, № 3. – P. 183-202.
4. Zhiming Li, Fritz Kormann, Blazej Grabowski, Jorg Neugebauer, Dierk Raabe. Ab initio assisted design of quinary dual-phase high-entropy alloys with transformation-induced plasticity // Acta Materialia. – 2017. - 136 . – P. 262-270.
5. Silva Basu, Zhiming Li, Pradeep K. G. and Dierk Raabe. Strain Rate Sensitivity of a TRIP-Assisted Dual-Phase High-Entropy Alloy // Frontiers in Materials. – 2018. - Volume 5 - Article 30. – P. 1-10.

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ИЗУЧЕНИЕ ИХ МОРФОЛОГИИ И СОСТАВА

М.А. ПЯТКОВА^{1,2}, А.И. ПЛЕШКОВА^{1,2}, Д.В. МАШТАЛЯР¹, И.М. ИМШИНЕЦКИЙ¹

¹Дальневосточный федеральный университет

²Институт химии ДВО РАН

E-mail: piatkova.maria.al@gmail.com

Одним из современных эффективных методов модификации поверхности изделий с целью повышения защитных свойств является плазменное электролитическое оксидирование (ПЭО) с последующей постобработкой полученного ПЭО-слоя различными веществами, к примеру, фторполимерами [1-4]. В связи с вышесказанным, в качестве фторорганической компоненты в данной работе применяли различные виды таких соединений: ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ) и раствор теломеров тетрафторэтилена (ТФЭ) в ацетоне (получен методом радиационно-химического синтеза в Институте проблем химической физики РАН), а в качестве способа обработки использовался метод распыления (spray-coating), суть которого заключается в нанесении с использованием направленного потока необходимого вещества специализированными устройствами на поверхность металлов и сплавов с целью ее модификации.

Предварительные испытания позволили установить оптимальный аэрозольный способ нанесения фторорганического материала [1] с использованием компрессора среднего давления и краскопульта. Распыление осуществлялось воздушным способом при снижающемся давлении от 0,6 до 0,4 МПа. Такие значения давления при обработке поверхности позволяют на первой стадии внедрять частицы полимера в поры покрытия и обеспечивают равномерный слой за счет деформации частиц. Постепенное снижение давления необходимо для того, чтобы распыляемые частицы не разрушали уже попавший на поверхность полимер, а наносились на его, увеличивая толщину слоя. Расстояние между соплом и поверхностью обрабатываемого изделия составляет около 20 см, при этом на поверхность попадает не менее 90% распыляемого материала, остальное улетучивается.