МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А. Н. ТУПОЛЕВА — КАИ КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ФИЗИКЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ КАЗАНСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ Е. К. ЗАВОЙСКОГО ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КАЗАНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН» АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Ш МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ГАЗОРАЗРЯДНАЯ ПЛАЗМА И СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУР»

Сборник трудов (г. Казань, 1-4 декабря 2022 г.)

Казань Издательство «Бук» 2022 УДК 533.9+620.3(063) ББК 22.333+22.353.2я431 Т66

Редакционная коллегия:

Борис Ахунович Тимеркаев, член-корр. Академии наук РТ, профессор, доктор физико-математических наук; Ильназ Изаилович Файрушин, кандидат технических наук; Артем Олегович Софроницкий, кандидат технических наук; Алмаз Ильгизович Сайфутдинов, кандидат физико-математических наук; Сергей Витальевич Рыжков, доктор физико-математических наук

III Международная конференция «Газоразрядная плазма и синтез наноструктур» : сборник трудов (г. Казань, 1-4 декабря 2022 г.) / М-во высшего образования и науки Рос. Федерации, М-во образования и науки Респ. Татарстан, Казанский нац. исследовательский технический ун-т и др. — Казань : Бук, 2022. — 676 с. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-907665-16-3.

Материалы конференции предназначены для специалистов, в области физики газоразрядной плазмы, наноматериалов и нанотехнологий. Могут быть полезны для студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

> УДК 533.9+620.3(063) ББК 22.333+22.353.2я431

ISBN 978-5-907665-16-3

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ВЭС FE-CO-CR-NI-MN И FE-CO-CR-NI-AL, СФОРМИРОВАННЫХ НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ СПЛАВА 5083

М. О. Ефимов¹, В. Е. Громов¹, Ю. Ф. Иванов², С. В. Коновалов¹, И. А. Панченко¹, Ю. А. Шлярова¹

¹Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия ²Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

Введение

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) впервые были описаны в начале этого века, как сплавы, содержащие 5 и более основных элементов с концентрацией каждого от 5 до 35%. Данные материалы наряду с характеристиками, типичными для металлических сплавов, обладают уникальными И необычными свойствами, присущими, например, металлокерамикам: высокой твердостью и стойкостью по отношению к температурному разупрочнению, прочностными высокими характеристиками при повышенных температурах, высокими износостойкостью и коррозионной стойкостью, рядом других характеристик [1, 2]. Целью работы является анализ структуры и свойств покрытий ВЭС Fe-Co-Cr-Ni-Mn и Fe-Co-Cr-Ni-Al, сформированных на подложке из сплава 5083 методом проволочно-дугового аддитивного производства.

Материал и методы исследования

Покрытием являлись высокоэнтропийные сплавы неэквиатомного элементного состава Fe-Co-Cr-Ni-Mn и Fe-Co-Cr-Ni-Al, которые были сформированы на подложке методом проволочно-дугового аддитивного производства. Подложкой являлся сплав 5083 на основе алюминия (Cr < 0,25%; Cu < 0,10%; Fe < 0,40%; Mg 4,0÷4,9%; Mn < 1,0%; Si < 0,10%; Ti < 0,15%; Zn < 0,25; другие элементы < 0,15; Al – остальное. Исследование элементного зоны контакта покрытия и подложки осуществляли методами сканирующей электронной микроскопии (прибор SEM 515 Philips).

Результаты и их обсуждение

Покрытие ВЭС Кантора Fe-Co-Cr-Ni-Mn

ІІІ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ГАЗОРАЗРЯДНАЯ ПЛАЗМА И СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУР»

Из приведенного на рисунке 1 профиля микротвердости «покрытие (Fe-Co-Cr-Ni-Mn)/подложка (сплав 5083)», отчетливо видно, что она изменяется в пределах (2,5-3,5) ГПа, а вдали от зоны контакта с покрытием составляет (1,0-1,1) ГПа. В зоне контакта покрытия с подложкой (переходный слой) микротвердость существенно увеличивается, достигая максимального значения 9,9-10,0 ГПа. Установлено, что нанесение высокоэнтропийного покрытия на поверхность образца сплава 5083 методом проволочнопроизводства дугового аддитивного сопровождается взаимным легированием покрытия и подложки, формированием в зоне контакта покрытия и подложки структуры пластинчатого типа, характеризующейся высокими значениями микротвердости. Представленные на рисунке 2 электронно-микроскопические изображения структуры зоны контакта покрытия и подложки, полученные методами сканирующей электронной микроскопии травленого шлифа, демонстрируют существенное отличие строения данного слоя материала от структуры и покрытия и подложки.



Рисунок 1. Профиль микротвердости системы «покрытие (Fe-Co-Cr-Ni-Mn)/подложка (сплав 5083)»; 1 – область покрытия; 2 – (переходный слой); 3 – область подложки

III МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ГАЗОРАЗРЯДНАЯ ПЛАЗМА И СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУР»



Рисунок 2. Изображения структуры поперечного сечения зоны контакта системы «покрытие(Fe-Co-Cr-Ni-Mn)/подложка (сплав 5083)», полученные методами сканирующей электронной микроскопии

Покрытие ВЭС Кантора Fe-Co-Cr-Ni-Al

Исследования механических свойств покрытия (<u>Fe-Co-Cr-Ni-Al</u>), выполненные путем построения профиля микротвердости, показали, что в объеме покрытия (Fe-Co-Cr-Ni-Al) значения микротвердости изменяются в пределах (6,6-6,2) ГПа (рисунок 3, область 1) и возрастают до 7,6 ГПа на границе с подложкой (рисунок 3, область 2). Твердость подложки у границы с покрытием достигает значений (1,5-1,6) ГПа и снижается до 1,1 ГПа на расстоянии 5 мм от границы (рисунок 3, область 3).



Рисунок 3. Профиль микротвердости системы «покрытие (Fe-Co-Cr-Ni-Al)/подложка (сплав 5083)»; 1 – область покрытия; 2 – переходный слой; 3 – область подложки

Результаты исследования структуры системы «покрытие (<u>Fe-Co-Cr-Ni-</u> <u>Al</u>)/подложка (сплав 5083)», полученные методами сканирующей электронной микроскопии травленого шлифа, приведенные на рисунке 4, демонстрируют наличие трех зон, выявленных при построении профиля микротвердости материала.



Рисунок 4. Изображения структуры поперечного сечения системы «покрытие (<u>Fe-Co-Cr-Ni-Al</u>)/подложка (сплав 5083)», полученные методами сканирующей электронной микроскопии. Обозначено: 1 – покрытие, 2 – переходный слой, 3 – подложка

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (проект № 20-19-00452) – формирование образцов системы «покрытие/подложка» методом проволочно-дугового аддитивного производства и за счет гранта Российского научного фонда № 19-19-00183, https://rscf.ru/project/19-19-00183/ – исследование структуры системы «покрытие/подложка» методами сканирующей электронной микроскопии.

Литература:

[1] George E.P., Curtin W.A., Tasan C.C. High entropy alloys: A focused review of mechanical properties and deformation mechanisms // Acta Materialia. 2020. Vol. 188. P. 435–474.

[2] Осинцев К.А., Громов В.Е., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Панченко И.А. Высокоэнтропийные сплавы: структура, механические свойства, механизмы деформации и применение // Изв. вузов. Черная металлургия. 2021. Т. 64. № 4. С. 249–258.

gromov@physics.sibsiu.ru