

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ СО РАН

ФИЗИЧЕСКАЯ МЕЗОМЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ.
ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ
СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЗМЫ НЕЛИНЕЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ

Международная конференция

5–8 сентября 2022 г.

Томск, Россия

Тезисы докладов

Новосибирск
2022

УДК 539(063)+620.18(063)
ББК В251я431+Ж37я431
Ф503

Ф503 Физическая мезомеханика материалов. Физические принципы формирования многоуровневой структуры и механизмы нелинейного поведения : Тез. докл. Междунар. конф., 5-8 сентября 2022 г., Томск, Россия / Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2022. – 556 с.

ISBN 978-5-4437-1353-3

Издание содержит тезисы международной конференции «Физическая мезомеханика материалов. Физические принципы формирования многоуровневой структуры и механизмы нелинейного поведения». Физическая мезомеханика является научным направлением, в рамках которого материал представляется как иерархическая система взаимосвязанных структурных (масштабных) уровней. В сборнике отражены последние достижения в области развития принципов и методологии физической мезомеханики и результаты их применения к созданию перспективных материалов в интересах развития новых производственных технологий, освоения космического пространства, в том числе дальнего космоса, электроники, атомной энергетики, нефтегазового комплекса, медицины, транспорта и др.

Предназначено научным сотрудникам, инженерам, аспирантам и специалистам, занимающимся вопросами физической мезомеханики, разработки наноструктурных объемных и наноразмерных материалов, наноструктурированием поверхностных слоев, тонкими пленками и покрытиями, нанотехнологиями, компьютерным конструированием новых материалов и технологий их получения, технологиями локальной нестационарной металлургии и обработки материалов, неразрушающими методами контроля.

УДК 539(063)+620.18(063)
ББК В251я431+Ж37я431

ISBN 978-5-4437-1353-3

© Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2022

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА Co-Cr-Fe-Mn-Ni^{1,2}Осинцев К.А., ^{1,2}Коновалов С.В., ^{1,3}Иванов Ю.Ф., ¹Громов В.Е., ¹Панченко И.А.,
¹Ефимов М.О., ¹Пашкова Д.Д.¹*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк*²*Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара*³*Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск*

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) представляют собой относительно новый класс металлических материалов, содержащих более 5 компонентов, содержание каждого из которых варьируется в диапазоне от 5 до 35 ат. %. ВЭС обладают рядом уникальных эффектов, таких как низкая скорость диффузии, высокое искажение кристаллической решетки, высокая конфигурационная энтропия смешения и др. Благодаря им ВЭС могут иметь высокую коррозионную стойкость и износостойкость, хорошее сочетание прочности и пластичности, что делает их перспективными для применения во многих отраслях промышленности. Поскольку в настоящее время лишь ограниченное число работ посвящено теме влияния внешних энергетических воздействий на структуру и свойства ВЭС, целью данной работы является исследование влияния электронно-пучковой обработки на структуру поверхности высокоэнтропийного сплава системы Co-Cr-Fe-Mn-Ni, изготовленного с помощью проволоочно-дугового аддитивного производства. Объектом исследования являлись образцы ВЭС, изготовленные с помощью электродуговой наплавки плавящимся электродом в среде защитного газа аргона (99,9 %) и облучения высокоинтенсивным (частота следования импульсов $0,3 \text{ с}^{-1}$) импульсным (количество импульсов облучения 3) электронным пучком субмиллисекундной длительности воздействия (50 мкс) с различной плотностью пучка электронов, варьирующейся от 10 до 30 Дж/см². В качестве плавящегося электрода использовалась проволока диаметром 1,2 мм, состоящая из трех скрученных жил: чистая кобальтовая проволока с $\varnothing 0.47 \text{ мм}$; сварочная проволока Autrod 16.95 с $\varnothing 0.74 \text{ мм}$ и X20N80 с $\varnothing 0,4 \text{ мм}$.

Исследование микроструктуры поверхности осуществлялось с помощью растрового электронного микроскопа, а определение размеров ячеек кристаллизации – по методу пересечений. Методом энергодисперсионной спектроскопии установлено, что сплав в исходном состоянии имеет неэквивалентный состав и содержит Cr 15,5 ат. %, Mn 3,1 ат. %, Fe 38,9 ат. %, Co 24,6 ат. %, Ni 17,9 ат. %. Результаты исследования микроструктуры поверхности показали, что высокоэнтропийный сплав системы Co-Cr-Fe-Mn-Ni, полученный с помощью проволоочно-дугового аддитивного производства имеет дендритную структуру, ориентированную вдоль отвода тепла при кристаллизации. Поперечный размер вытянутых зерен составляет 7 мкм, а продольный – до 3 мм. Картирование поверхности с помощью энергодисперсионного микроанализа показало равномерное распределение химических элементов в микроструктуре наплавленного материала. Электронно-пучковая обработка не изменила химический состав исследуемого материала, однако привела к первичной рекристаллизации поверхностного слоя и формированию ячеек округлой формы. С увеличением плотности энергии пучка электронов размер ячеек линейно растет с $220 \pm 20 \text{ нм}$ (при 10 Дж/см²) до $441 \pm 17 \text{ нм}$ (при 30 Дж/см²). Толщина расплавленного слоя также увеличивается, и ее величина изменяется от 0,8 мкм до 5 мкм.

Таким образом, облучение образцов высокоэнтропийного сплава высокоинтенсивным импульсным электронным пучком с плотностью энергии от 10 до 30 Дж/см² сопровождается преобразованием структуры поверхностного слоя сплава, а именно, формированием структуры высокоскоростной ячеистой кристаллизации. Изменения толщины обработанного слоя и размеров ячеек кристаллизации пропорционально зависят от плотности энергии пучка электронов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ No 20-19-00452.