

АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СПЛАВА FeAlCoNiCrC

Дмитриенко А.Н.¹, маг., Юаньсюнь Лю, асп., Ковалевская Ж.Г., д.т.н., проф.

*Томский политехнический университет,
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 30*

¹e-mail: and11@gmail.com

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) в последнее десятилетие привлекли широкое внимание специалистов в связи с демонстрацией их необычных свойств, проявляемых из-за сложного конфигурационного состояния [1, 2]. В отличие от традиционно создаваемых сплавов, путем легирования одного компонента малыми долями других, в ВЭС основой служат сразу несколько элементов, взятых в количестве не менее пяти с эквивалентной концентрацией каждого [3].

Интерес исследователей привлекает высокоэнтропийный сплав FeAlCoNiCr. В литом состоянии он имеет структуру на основе ГЦК кристаллической решетки. Легирование углеродом может улучшить комплект механических свойств сплава [4].

В данной работе проведены исследования строения образцов из ВЭС FeAlCoNiCrC, полученные методом плавлением при помощи ТВЧ. Цель данной работы заключалась в исследовании строения полученного сплава FeAlCoNiCrC.

В качестве исходных материалов использовали металлические порошки Co, Cr, Fe, Ni, Al чистотой более 99,5 мас. % и размером частиц менее 55 мкм. Элементарные порошки смешивались в эквивалентном составе – Fe (22,1 мас. %), Al (10,7 мас. %), Co (23,3 мас. %), Ni (23,2 мас. %), Cr (20,6 мас. %). Последующая механоактивация проводилась в планетарной шаровой мельнице в течение 1 часа при 240 об/мин в атмосфере воздуха. В качестве мелющей среды использовались шарики из высококачественной нержавеющей стали с массовым соотношением шариков к порошку 3:1. Применялся агент, контролирующий обработку, чтобы избежать холодной сварки, а также предотвратить окисление сплава. В качестве агента использовался раствор стиариновой кислоты в этиловом спирте [5]. Смесь после механического сплавления подвергалась дополнительному отжигу в вакуумной печи при температуре 600 °С.

При плавлении на ТВЧ был использован графитовый тигель и катушка диаметром 40 мм, плавление происходило при 70 А в течении 5 мин в атмосфере воздуха. Сплавленные образцы повторяли форму круглого в сечении тигля диаметром 13 мм и высотой 10 мм.

Далее были сделаны шлифы залитые в эпоксидную смолу. Для полировки поверхности используются различные виды наждачной и полировочной бумаги. Образец, полученный ТВЧ плавкой, травился при помощи царской водкой. Фотографии микроструктуры были выполнены на микроскопе CarlZeiss AxioObserver. Распределение компонентов в сплаве проводилось по результатам растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе Quanta 200-3D.

После оплавления ТВЧ в графитном тигле сформировалась материал с литой структурой (рис. 1). В структуре присутствует пористость около 5 %. Она формируется либо в процессе усадки жидкого материала, либо сохраняется от исходного порошкового материала с низкой насыпной плотностью.

После травления в микроструктуре образца наблюдается три структурных составляющих: основа, частицы иглообразной формы и частицы с полиэдрическим строением. Предположительно основа представляет из себя твердый раствор компонентов сплава, игольчатые включения являются интерметаллидом компонентов сплава, а частицы с полиэдрическим строением – карбиды карбидообразующих элементов сплава, образованные при взаимодействии расплава с тиглем.

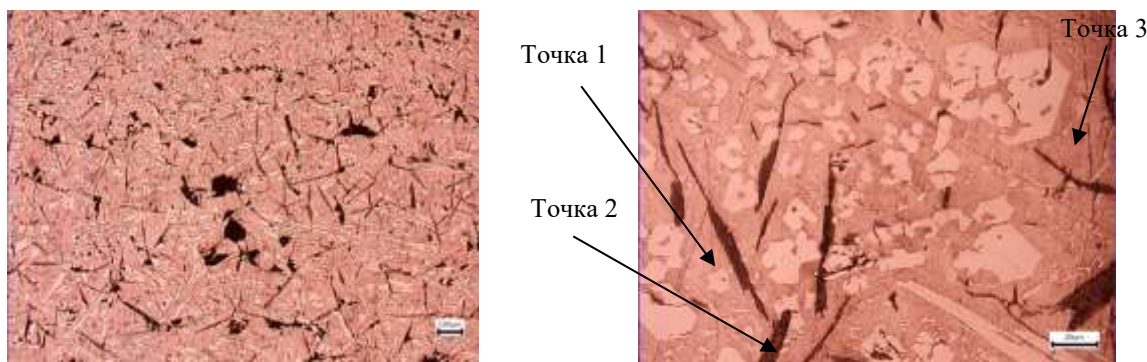


Рис. 1. Микроструктура ВЭС Fe-Al-Co-Ni-C консолидированного ТВЧ

Результаты РЭМ показали следующий химический состав в весовом %:

Точка 1 на рис. 1 имеет следующий химический состав: Al (7,5 %) Cr (4,5 %) Fe (18 %) Co (32 %) Ni (37,5 %).

Точка 2 рис. 1 частицы иглообразной формы имеют химический состав: Al (57 %) Cr (26 %) Fe (6 %) Co (6 %) Ni (3 %).

Точка 3 рис. 1 частицы с полиэдрическим строением имеют химический состав: Cr (65 %) Fe (15 %) Co (15 %), Ni (4 %).

Таким образом, в ходе исследования структуры высокоэнтروпийного сплава Fe-Al-Co-Ni-Cr-C при ТВЧ плавлении сплава в графитовом тигле, образуется материал с трехфазной структурой.

Список литературы

1. Батаева З.Б. и др. Обзор исследований сплавов, разработанных на основе энтروпийного подхода // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 116–146.
2. Громов В.Е. и др. Применение высокоэнтропийных сплавов // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2021. – Т. 64, № 10. – С. 747–754.
3. Осинцев К.А. и др. Структурно-фазовое состояние высокоэнтропийного сплава Al-Co-Cr-Fe-Ni, полученного проволоочно-дуговой аддитивной технологией // Ползуновский вестник. – 2021. – № 1. – С. 141–146.
4. Астафурова Е.Г. и др. Температурная зависимость деформационного поведения высокоэнтропийных сплавов Co₂₀Cr₂₀Fe₂₀Mn₂₀Ni₂₀, Co₁₉Cr₂₀Fe₂₀Mn₂₀Ni₂₀C₁ и Co₁₇Cr₂₀Fe₂₀Mn₂₀Ni₂₀C₃. Механические свойства и температурная зависимость предела текучести // Физическая мезомеханика. – 2023. – Т. 26, № 6. – С. 5–16.
5. Кузьмич Ю.В. и др. Механическое легирование как метод получения конструкционных материалов на основе алюминия // Перспективные материалы. – 2003. – № 6. – С. 69–75.