

3. Tatarintsev V.A., Shlyushenkov A.P. Effect of structural parameters on the fatigue failure of cast steels in loading with low-cycle overloads / V.A. Tatarintsev, A.P. Shlyushenkov // Strength of Materials. – 1991. – Т. 23. – № 7. – P. 775–782.

4. Бадьлевский Д.В. Выбор прочностных характеристик материала элементов транспортных машин / Д.В. Бадьлевский, В.А. Татаринцев // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – 2021. – С. 49–54.

5. Симочкин В.В. Влияние режимов термоциклической обработки на прочностные свойства литых сталей / В.В. Симочкин, В.А. Татаринцев, О.Д. Филотенков // Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов: сборник материалов международной научно-практической конференции. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2016. – С. 274–278.

6. Татаринцев В.А. Выбор прочностных характеристик сталей из условия обеспечения заданного уровня надежности / В.А. Татаринцев // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 2020. – С. 15–22.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО СПС И ТВЧ КОНСОЛИДАЦИЕЙ

*А.Н. Дмитриенко^а, маг., Лю Юаньсюньа, аспирант, Ж.Г. Ковалевская, д.т.н., проф.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ^аand11@gmail.com*

Аннотация: В работе исследована структура высокоэнтропийного сплава Fe-Al-Co-Ni-Cr, полученного СПС и ТВЧ консолидацией из механоактивированного порошка. Определено, что при СПС спекании формируется образец со структурой частично наследуемой от исходного механоактивированного порошка и модифицированной в процессе спекания. При ТВЧ плавлении механоактивированного порошка в графитном тигле, формируется монолитный материал с трехфазной структурой. Одна из структурных составляющих предположительно формируется за счет взаимодействия с материалом тигля.

Ключевые слова: высокоэнтропийный сплав, механоактивация, СПС, ТВЧ.

Abstract: This work investigates the structure of a high-entropy Fe-Al-Co-Ni-Cr alloy obtained by SPS and high-frequency consolidation from mechanically activated powder. It has been determined that during SPS sintering a sample is formed with a structure partially inherited from the original mechanically activated powder and modified during the sintering process. When high-frequency melting of mechanically activated powder in a graphite crucible, a monolithic material with a three-phase structure is formed. One of the structural components is presumably formed due to interaction with the crucible material.

Keywords: high-entropy alloy, mechanical activation, SPS, HDTV.

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 эквиатомной концентрацией каждого [3].

В данной работе проведены исследования строения образцов из ВЭС Fe-Al-Co-Ni-Cr, полученные методом механоактивации с последующим электроискровым спеканием (СПС) или плавлением при помощи ТВЧ. Так же были проведены попытки плавления в камерной печи при температуре 1200 °С в керамическом тигле, но данной температуры было не достаточно для плавления.

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 эквиатомном 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. Смесь после механического сплавления подвергалась дополнительному отжигу в вакуумной печи при температуре 600 °С.

Подготовленный механоактивацией порошок консолидировали искровым плазменным спеканием при 900 °С в течение 10 мин под давлением 50 МПа в вакууме. Время сохранения температуры 10 минут и затем свободно охлаждают до комнатной температуры.

Полученные образцы имели форму таблеток диаметром 15 мм и высотой 5 мм. При плавлении на ТВЧ был использован графитовый тигель и катушка диаметром 40 мм, плавление происходило при 70А 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.

Порошок и образец, полученный СПС не подвергались травлению. Образец, полученный ТВЧ плавкой, травился при помощи царской водкой. Фотографии микроструктуры были выполнены на микроскопе CarlZeiss AxioObserver.

Ниже представлены результаты микроструктурного анализа механоактивированного порошка и образцов после СПС и ТВЧ консолидации (рис. 1–3).

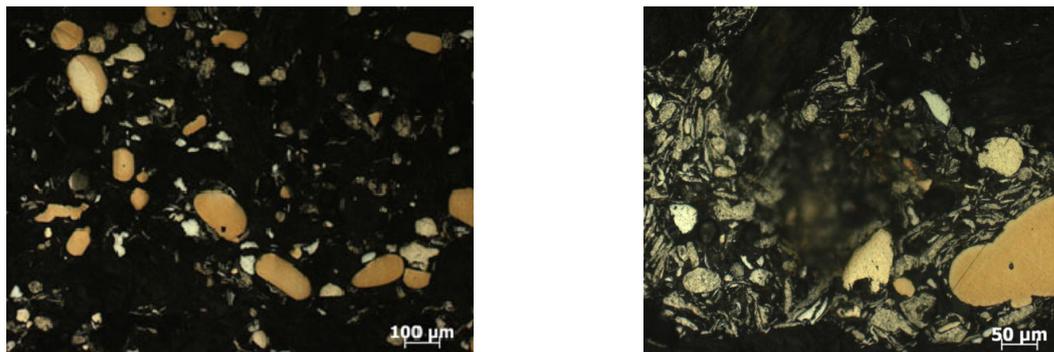


Рис. 1. Микроструктура механоактивированного порошка ВЭС Fe-Al-Co-Ni-Cr

После механического активирования исходных порошков произошло перемешивание и измельчения материала с формированием конгломератов, состоящих из механической смеси нескольких веществ (рис. 1). Конгломераты имеют полосчатое строение, что характерно для материала, подвергнутого интенсивной пластической деформации [4].

Вероятнее всего, что агломераты сформировали компоненты с минимальной твердостью и высокой пластичностью. Такие как алюминий и железо. Компоненты, имеющие высокую твердость, такие как кобальт и хром, деформировались лишь частично, сохранив форму исходных частиц.

После СПС консолидации формируется монолитный материал с пористостью около 5 %. Как видно на рисунке 2, строение образца неоднородное и обусловлено сохранением строения механоактивированного материала. В структуре образца видны отдельные частицы порошка, окруженные смесью материала без полосчатой микроструктуры, характерной для исходных частиц-конгломератов.

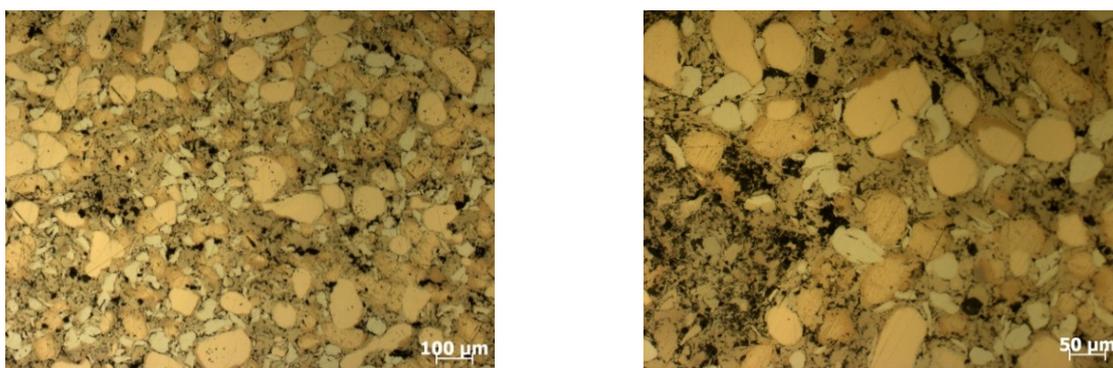


Рис. 2. Микроструктура ВЭС Fe-Al-Co-Ni-Cr консолидированного СПС

Можно предположить, что частицы-конгломераты под действием электрического разряда приобрели однородное строение и химическую однородность. Эффект диффузионного проникновения компонентов друг в друга проявилось в исчезновении внутренних границ агломератов и формировании общей матрицы образца.

После оплавления ТВЧ в графитном тигле сформировалась материал с литой структурой (рис. 3). 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, иглообразные включения являются интерметаллидом компонентов сплава, а частицы с полиэдрическим строением – карбиды карбидообразующих элементов сплава, образованные при взаимодействии расплава с тиглем.

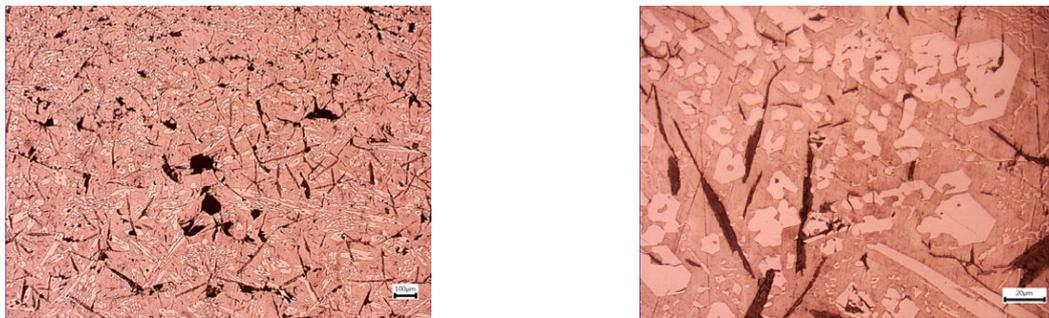


Рис. 3. Микроструктура ВЭС Fe-Al-Co-Ni-Cr консолидированного ТВЧ

Таким образом, в ходе исследования структуры высокоэнтропийного сплава Fe-Al-Co-Ni-Cr, полученного СПС и ТВЧ консолидацией, определено, что при СПС спекании формируется образец со структурой частично наследуемой от исходного механоактивированного порошка и модифицированной в процессе спекания. При ТВЧ плавлении сплава в графитовом тигле, образуется материал с трехфазной структурой, одна из структурных составляющих которой предположительно формируется за счет взаимодействия с материалом тигля.

Список использованных источников:

1. Батаева З.Б. Обзор исследований сплавов, разработанных на основе энтропийного подхода / З.Б. Батаева [и др.] // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2021. – Т. 23. – № 2. – С. 116–146.
2. Громов В.Е. Применение высокоэнтропийных сплавов Громов В.Е. [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2021. – Т. 64. – № 10. – С. 747–754.
3. Кузьмич Ю.В. и др. Механическое легирование как метод получения конструкционных материалов на основе алюминия / Ю.В. Кузьмич [и др.] // Перспективные материалы. – 2003. – № 6. – С. 69–75.
4. Осинцев К.А. Структурно-фазовое состояние высокоэнтропийного сплава Al-Co-Cr-Fe-Ni, полученного проволочно-дуговой аддитивной технологией / К.А. Осинцев [и др.] // Ползуновский вестник. – 2021. – № 1. – С. 141–146.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ ЧАСТИЦ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ СИСТЕМЫ Al-Si-Mg В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

*Е.А. Ибрагимов^а, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин^б, к.т.н., доц.
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mails: ^аegor83rus@tpu.ru, ^бsapraa@tpu.ru*

Аннотация: В данной статье приводятся результаты предварительного эксперимента, которые подтверждают возможность изменять форму частиц порошковой композиции системы Al-Si-Mg под различным воздействием мелющих тел в шаровой мельнице

Ключевые слова: Механическая активация, режимы движения, планетарная мельница, шаровая мельница.

Abstract: This article presents the results of a preliminary experiment that confirms the ability to change the shape of particles of a powder composition of the Al-Si-Mg system under various influences of grinding media in a ball mill.

Keywords: Mechanical activation, modes of motion, planetary mill, ball mill.

Известно, что одним из основных требований к порошковым материалам применяемых в технологиях селективного лазерного спекания (SLS) и селективного лазерного плавления (SLM) является определенный