

УДК 621.373.826

Новая технология послойного выращивания композиционного материала железо — медь

Ломакин Иван Алексеевич^(*)

lomakinia@student.bmstu.ru

SPIN-код: 2261-5630

Шиганов Игорь Николаевич

inshig@bmstu.ru

SPIN-код: 7316-1459

Холопов Андрей Андреевич

xol@bmstu.ru

SPIN-код: 4828-9780

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Исследованы возможности нового метода получения композиционного материала Fe–Cu на основе аддитивной технологии коаксиального лазерного плавления. Выбраны режимы плавления, порошки и стратегия выращивания. Исследована микроструктура полученных композиций Fe 75 %-Cu 25 %; Fe 50 %-Cu 50 %; Fe 25 %-Cu 75 %. Установлено, что структура данных материалов представляет собой медную матрицу с равномерно распределенными частицами железа. Расслоения элементов в объеме трека не наблюдалось. Пористость отсутствовала. Методом электронной микроскопии показано, что растворимость элементов друг в друге минимальная, не более 2–3 %. Наложением треков как в горизонтальном, так и в вертикальном положении друг на друга получены образцы толщиной до 10 мм с равномерным распределением по объему железа в медной матрице. Показана возможность получения материала путем сплавления порошков стали и бронзы в соотношении 40 % AISI316 и 60 % BrX0,8 без расслоения.

Ключевые слова: композиты, способы получения, аддитивные технологии, режимы, структура, составы

Введение. Композиционные материалы с металлической матрицей (КМ) — это класс гетерофазных конструкционных материалов, который активно развивается во всем мире и находит широкое применение в существующих и перспективных изделиях промышленного производства [1]. Уникальное сочетание свойств характерно для металломатричных композиционных материалов (МКМ), в состав которых могут входить пластичные металлические и высокомодульные матрицы с высокопрочными наполнителями. Целым рядом специфических свойств обладают МКМ на основе несмешиваемых компонентов, например Fe–Cu [2]. Однако их широкому применению препятствуют технологические сложности, вызванные склонностью компонентов к расслоению в жидком состоянии из-за разницы плотностей и температур плавления. Расслоение в системе вызывает добавление даже сотых долей углерода.

Основным методом производства композитов Fe–Cu является порошковая металлургия, включая спекание и пропитку. Эти методы позволяют избежать расплавления, но имеют существенные недостатки: ограниченность размеров

и форм изделий, высокая пористость, нестабильность свойств и сложность контроля микроструктуры. Альтернативные технологии (например, СВС-синтез с переплавом) остаются сложными и экспериментальными [3].

Перспективным направлением считается использование аддитивных технологий, в частности прямого лазерного выращивания, которое позволяет локально сплавлять порошки различных материалов. Этот метод потенциально может решить проблемы получения деталей сложной формы с равномерной микроструктурой и заданными свойствами, но данные по созданию композиций Fe–Cu таким способом ограничены [4]. Целью данной работы являлось исследование возможности создания КМ Fe–Cu аддитивным методом прямого лазерного выращивания.

Методы и материалы; результаты. Выращивание деталей осуществляли на отечественном лазерном технологическом комплексе прямого лазерного выращивания КЛП-400 разработки МГТУ им. Н.Э. Баумана. В качестве источника нагрева использовали волоконный лазер ЛС-3 мощностью 3кВт. Порошок в зону обработки подавался коаксиально с лазерным лучом через специальную головку. Такой метод называется коаксиальное лазерное плавление (КЛП) [5].

Для получения композиционного материала использовали порошки чистого железа и чистой меди фракцией 60–80 мкм. Порошки подавали в наплавочную головку отдельно из двухколбового питателя. Исследовали соотношения порошков: 25 Cu–75 Fe; 50 Cu–50 Fe; 75 Cu–25 Fe, которое регулировали расходом из питателя. Изменение содержания железа в композиции Fe–Cu позволяет управлять физико-механическими свойствами МКМ.

Выявлены оптимальные режимы наплавки одиночного валика: мощность лазерного излучения 600 Вт, скорость перемещения 400 мм/мин, диаметр луча 1,0 мм. Защита от окисления осуществлялась аргоном. Для формирования элемента толщиной до 10 мм наплавку проводили слоями толщиной 0,3 мм, шириной 1,2 мм. Валики наносили с перекрытием на 50 %.

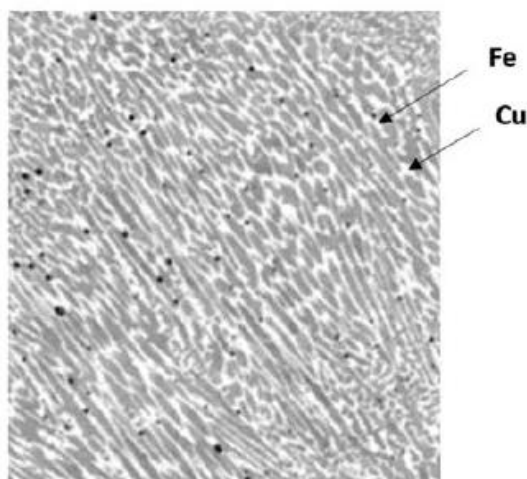


Рис. 1. Микроструктура одного слоя КМ Fe50%-Cu50% ($\times 1000$)

Как видно на микроструктуре выращенных образцов (рис. 1), частицы железа размером от 20 до 80 мкм (серого цвета) относительно равномерно распределены в медной матрице (белого цвета). Проведенный анализ состава частиц на электронном растровом микроскопе показал наличие некоторой взаимной растворимости в соответствии с диаграммой состояния композиции без расслоения системы. Отмечено укрупнение отдельных частиц железа (порядка 100 мкм) при увеличении содержания железа.

Методом КЛП были изготовлены образцы размером 10×20×20 мм. При нанесении дорожек как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении распределение частиц железа в медной матрице сохранялось. Был опробован вариант смешения порошков стали AISI316 и бронзы БрХ0,8 (рис. 2).

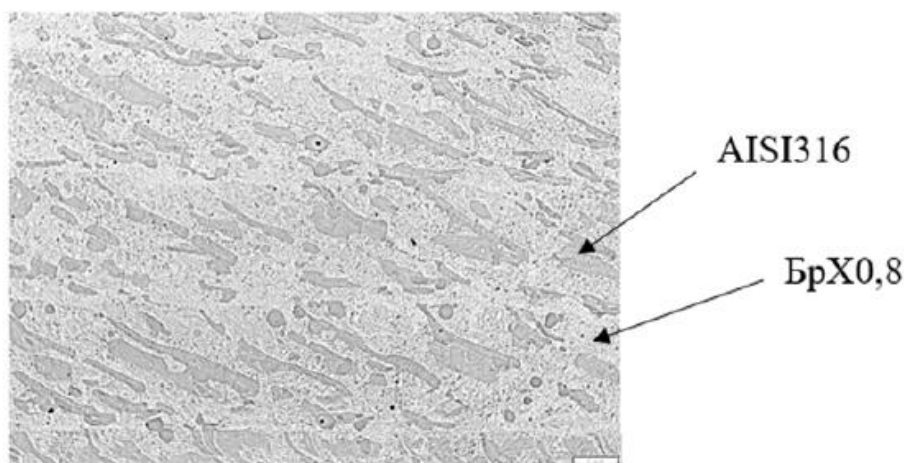


Рис. 2. Микроструктура объемного образца 40% AISI316-60% БрХ0,8

Отмечена неизменность состава порошков, легирующие элементы не привели к расслоению аналогично с литейным процессом. Установленный феномен требует дополнительного тщательного изучения.

Заключение. Аддитивный метод получения композиций Fe–Cu значительно проще в реализации, чем традиционные технологии. КЛП исключает необходимость изготовления пресс-форм и этапы горячего прессования или жидкой пропитки, позволяет выращивать детали любого размера и формы, сохраняя при этом равномерное и контролируемое распределение частиц в матрице по всему объему детали без расслоения. Кроме того, он обеспечивает минимальную пористость и является наименее трудоемким из всех существующих методов. В дальнейшем планируется детальное исследование свойств полученных материалов и разработка технологий создания конкретных деталей.

Список источников

- [1] Шиганов И.Н., Овчинников В.В., Коберник Н.В. *Композиционные материалы с металлической матрицей (сварные соединения и покрытия)*. Москва, Кнорус, 2021, 350 с.

-
- [2] Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д. *Сплавы на основе систем с ограниченной растворимостью в жидком состоянии (теория, технология, структура и свойства)*. Москва, Интерконтакт наука, 2002, 371 с.
 - [3] Санин В.В., Филонов М.Р., Юхвид и др. Получение сплава 70 % Cu–30 % Fe методами СВС-металлургии и электрометаллургии. Сравнительный анализ микроструктур. Известия вузов. *Порошковая металлургия и функциональные покрытия*, 2019, № 2, с. 33–40.
 - [4] Chatterjee Ar.S. Mazumder E., Misra J. Hierarchical microstructures and deformation behavior of laser direct-metal-deposited Cu-Fe alloys. *Materials Science and Engineering A*, 2020, 802 p. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140659>
 - [5] Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. *Лазерные аддитивные технологии в машиностроении*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020, 350 с.