

УДК 620.184.3

DOI: 10.17223/00213411/64/8/31

Д.А. ГУРЬЯНОВ, С.В. ФОРТУНА, С.Ю. НИКОНОВ, Е.Н. МОСКВИЧЕВ, Е.А. КОЛУБАЕВ

ВЛИЯНИЕ ПОГОННОЙ ЭНЕРГИИ НА СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА ЖС6У, СФОРМИРОВАННЫХ ПРОВОЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ*

Исследовано влияния технологических параметров проволочной электронно-лучевой аддитивной технологии на структуру конечного изделия. Показано, что средствами примененной аддитивной технологии возможно получение бездефектных изделий с направленной структурой. Рассмотрены особенности структуры материала сформированного аддитивного изделия и его отличия от исходного материала в литом состоянии. Выявлено влияние погонной энергии на структурную стабильность и основную структурную характеристику – расстояние между осями дендритов первого порядка (λ_1). Показано, что динамическое изменение тока электронного пучка способствует замедлению увеличения значения λ_1 . Установленные значения λ_1 свидетельствуют о достижении величин температурных градиентов, необходимых для реализации направленной кристаллизации.

Ключевые слова: аддитивные технологии, жаропрочные сплавы, микроструктура, направленная кристаллизация.

Введение

Жаропрочные стали и сплавы на основе никеля и кобальта являются востребованными материалами в производстве компонентов горячего тракта газотурбинных двигателей и установок. Подобные сплавы обладают высокими значениями таких свойств, как длительная прочность, стойкость к высокотемпературной ползучести и коррозии [1–3]. При производстве изделий, работающих в подобных экстремальных условиях, стараются добиться формирования монокристаллической либо направленной структуры [3]. В настоящее время изделия с подобной структурой получают литьем по технологии Бриджмена – Стокбаргера, заключающейся в медленном перемещении кристаллизующейся заготовки из зоны нагрева в зону охлаждения. Так как охлаждение при подобном подходе осуществляется только за счет радиационного отвода тепла, то и температурные градиенты у фронта кристаллизации достигают небольших значений (10–20 °С/см). Данная технология получила развитие в виде процесса направленной кристаллизации с жидкометаллическим охладителем. Отличие от традиционного метода Бриджмена – Стокбаргера заключается в том, что зона охлаждения представлена расплавом легкоплавкого материала в виде алюминия или олова. Новый подход позволяет увеличить значение температурного градиента до 200 °С/см [4]. Тенденция повышения температурного градиента обусловлена возможностью уменьшить размеры дендритов (расстояние между осями дендритов первого порядка), пористость, а также снизить дендритную ликвацию [5].

В последние годы происходит активное развитие аддитивных технологий [6]. За это время выделилось несколько подходов к формированию изделий из чистых металлов и сплавов на их основе. Так, в качестве теплового источника могут выступать электронный пучок, лазерный луч или электрическая дуга. Материал может подаваться в зону плавления в виде порошка или проволоки, или же процесс формирования происходит в порошковой ванне [6]. Аддитивные технологии привлекательны тем, что позволяют снизить объемы отходов материала, упрощают формирование изделий сложной геометрической формы, а также дают возможность комбинировать различные исходные материалы (за счет последовательной или параллельной подачи филаментов). Аддитивное производство характеризуется локальностью процессов плавления и кристаллизации, что приводит к увеличению значений температурного градиента и скорости охлаждения. В связи с этим появились работы, посвященные формированию изделий с направленной либо монокристаллической структурой методами аддитивных технологий [7]. Одно из направлений применения на-

* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2019-0034. Исследования проведены с использованием оборудования центров коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» НИ ТГУ и «Нанотех» ИФПМ СО РАН.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>