

УДК 538.911: 621.521: 538.951

DOI: 10.17223/00213411/62/8/166

К.С. ОСИПОВИЧ, А.В. ЧУМАЕВСКИЙ, А.А. ЕЛИСЕЕВ, К.Н. КАЛАШНИКОВ,
Е.А. КОЛУБАЕВ, В.Е. РУБЦОВ, Е.Г. АСТАФУРОВА

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ БИМЕТАЛЛА МЕДЬ/СТАЛЬ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ *

Исследована микроструктура биметалла разнородных материалов, нержавеющей стали 12Х18Н9Т и меди М1, полученного методом проволоочной электронно-лучевой аддитивной технологии. Установлено, что для биметаллического образца характерна четкая граница раздела двух материалов с образованием двухфазных переходных областей по обе стороны от границы. Неоднородность прочностных свойств (микротвердости) в переходных зонах обусловлена твердорастворным упрочнением основных компонентов биметалла и формированием композитных структур со сферическими включениями стали в медной части заготовки и меди в стальной части переходной зоны биметалла. В медной части биметаллического образца формируется неоднородная зеренная структура: наблюдали области с неравноосной крупнокристаллической структурой и зоны со сферическими зёрнами. Микроструктурный анализ следов скольжения и зеренной структуры позволил установить, что неоднородность формы и размеров зёрен не оказывает заметного влияния на напряжения течения меди, рассчитанные по соотношению Холла – Петча, но влияет на макроскопическую картину деформации образцов.

Ключевые слова: биметалл, нержавеющая сталь, медь, зеренная структура, электронно-лучевая аддитивная металлургия, 3D-печать, механические свойства.

Введение

Одним из актуальных на сегодняшний день вопросов физики конденсированного состояния и материаловедения выступает разработка научных основ формирования микроструктуры металлов и сплавов при использовании методов аддитивных технологий (АТ). Материаловеды заинтересованы в расширении спектра материалов, которые подходят для изготовления качественных и бездефектных изделий при аддитивном производстве, а физики – в разработке научных представлений о механизмах формирования структуры таких материалов на разных масштабных уровнях. На данный момент существует широкий спектр материалов, которые применяют для изготовления изделий с помощью АТ: стали [1, 2], алюминий [3, 4], титан [5–7], суперсплавы на основе никеля [8] и другие металлические материалы [9]. Методы АТ также могут быть эффективно использованы для формирования биметаллических изделий, которые обычно получают методами сварки или дуговой наплавки [10, 11].

Медно-стальной биметалл является типичным многофункциональным материалом, который широко применяется в литейной промышленности и энергетике: для передачи электрического тока, в теплопередающих компонентах и криогенном секторе [12, 13]. На данный момент существует немного работ по изучению свойств медно-стальных биметаллов, что вызвано сложностью формирования таких биметаллических соединений из-за различия физических и химических свойств меди и стали. На фазовой диаграмме Fe–Cu нет интерметаллидных фаз, за исключением малой области ограниченной растворимости между Cu и Fe [14]. Высокая отражательная способность и низкая растворимость меди в железе затрудняют осаждение стали на медь; высокая теплопроводность меди – 401 Вт/(м·град) и быстрый отвод тепла из ванны расплава препятствует достижению температуры плавления [14]. Значительная разница в коэффициентах теплового расширения и теплопроводности для меди и стали неизбежно вызывает большую деформацию и остаточные напряжения при охлаждении материала от температуры плавления, что приводит к образованию трещин при затвердевании биметаллических образцов [14]. Водород легко растворяется в жидкой меди и способствует образованию пор в области соединения биметалла [14]. Таким образом, проблема получения соединения разнородных металлов не решена к настоящему времени. Авторам работы не удалось найти в открытой печати экспериментальных или теоретических работ по исследованию микроструктуры и физических свойств биметаллов медь – сталь, полученных методами АТ. Тем не менее метод электронно-лучевой проволоочной 3D-печати имеет ряд техно-

* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., направление III.23.

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>