

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-237

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МАТЕРИАЛА «АУСТЕНИТНАЯ СТАЛЬ/АУСТЕНИТНАЯ СТАЛЬ + СПЛАВ NiCr», ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПРОВОЛОЧНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ 3D-ПЕЧАТИ

Мельников Е.В., Астафурова Е.Г., Астафуров С.В., Панченко М.Ю., Реунова К.А.,
Москвина В.А., Майер Г.Г., Рубцов В.Е., Колубаев Е.А.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

С использованием сканирующей электронной микроскопии, рентгенофазового и магнитофазового анализа и металлографии были изучены закономерности формирования градиентной структуры в материале «аустенитная сталь/аустенитная сталь + сплав NiCr», полученном методом аддитивного производства. Методом электронно-лучевой 3D-печати на подложке из аустенитной стали были сформированы заготовки «аустенитная сталь/аустенитная сталь + сплав NiCr» в форме стенки с размерами $110 \times 26 \times 5$ мм³. Для формирования градиентного материала использовали два типа проволок (диаметром 1,2 мм): аустенитную нержавеющую сталь (АНС) 08X18H9T (Fe-18,2Cr-9,4Ni-1,1Mn-0,7Ti-0,5Si-0,08C, масс. %) и сплав NiCr (77,8Ni-19,7Cr-1,9Si-0,5Zr-0,6Fe, масс. %). На подложку наплавляли пять слоев стальной проволоки, затем комбинированной подачей проволок (с применением двухпроволочных податчиков) проводили дальнейшее выращивание стенки с разным соотношением стали и нихрома. Стенка 1 была выращена при повторении последовательности: 4 слоя АНС + 2 слоя (АНС + 20 % NiCr); стенка 2 – 2 слоя АНС + 2 слоя (АНС + 20 % NiCr); стенка 3 – 1 слой АНС + 2 слоя (АНС + 20 % NiCr). Для исследования микроструктуры из полученных заготовок вырезали плоские образцы перпендикулярно слоям (в направлении роста стенки).

Область «АНС» (первые пять слоев заготовок) имеет двухфазную $\gamma + \delta$ микроструктуру, характерную для аддитивно-произведенных аустенитных нержавеющих сталей. В этой части заготовки объемное содержание феррита увеличивается с удалением от подложки от 6 до 15 %, что связано с обеднением материала по Ni и уменьшением скорости затвердевания при кристаллизации материала. В части заготовки с двухпроволочной подачей материала АНС + NiCr структура полученных стенок также характеризуется дендритным строением. В этой части заготовок она представляет собой чередование слоев с разной травимостью: слои с пониженной травимостью соответствуют объему «слоев», а с повышенной травимостью – зонам сплавления слоев между собой. В переходной области «АНС/АНС + NiCr» фиксировали постепенное уменьшение объемной доли ферритной фазы. Макроскопически на металлографических шлифах наблюдали довольно четкую границу раздела между такими областями, что напрямую связано с подавлением формирования феррита в верхней части заготовки из-за обогащения по никелю. В области «АНС + NiCr» структура также имеет дендритное строение, главные ветви дендритов совпадают с направлением роста стенки. При этом с уменьшением количества слоев АНС в стенках между слоями с подачей проволоки нихрома фиксировали уменьшение доли δ -феррита, таким образом, что в стенке 3 его содержание было близко к нулю (не выявлялся при магнитофазовом анализе). В стенке 1 еще сохраняется двухфазная ($\gamma + \delta$) структура, но содержание высокотемпературного феррита значительно уменьшается по сравнению с частью заготовки, в которой не производили подачу нихромовой проволоки (уменьшается с 10 до 5 %). В стенке 2 объемное содержание феррита в части заготовки «АНС + NiCr» не превышает 1 %, то есть режимы 2 и 3 двухпроволочного аддитивного производства способствует формированию преимущественно аустенитной структуры в заготовках.

Таким образом, экспериментально показано, что использование двухпроволочной (АНС + NiCr) электронно-лучевой 3D-печати позволяет формировать заготовки нержавеющей стали с однофазной аустенитной структурой и подавлять формирование нежелательной δ -фазы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2019-0030. Исследования проведены на оборудовании ИФПМ СО РАН (ЦКП «Нанотех»).