

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 538.9

DOI: 10.17223/00213411/64/7/10

*Е.Г. АСТАФУРОВА, К.А. РЕУНОВА, С.В. АСТАФУРОВ, М.Ю. ПАНЧЕНКО, Е.В. МЕЛЬНИКОВ,
В.А. МОСКВИНА, Г.Г. МАЙЕР, В.Е. РУБЦОВ, Е.А. КОЛУБАЕВ*

**ВЛИЯНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ
3D-ПЕЧАТИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ
И РАЗРУШЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ Cr–Mn-СТАЛИ ***

Исследован фазовый состав, закономерности пластической деформации и микромеханизмы разрушения высокоазотистой хромомарганцевой стали Fe–(25–26)Cr–(5–12)Mn–0.15C–0.55N (мас. %), полученной методом электронно-лучевой 3D-печати (аддитивной технологии) и подвергнутой термической обработке (при температуре 1150 °С с закалкой). Для установления влияния процесса электронно-лучевой 3D-печати на фазовый состав, микроструктуру и механические свойства высокоазотистой стали проводили сопоставление с данными образцов аустенитной стали Fe–21Cr–22Mn–0.15C–0.53N (мас. %), полученной традиционными методами литья и термообработки и используемой в качестве сырья для аддитивной технологии. Установлено, что в образцах, изготовленных с помощью метода аддитивной технологии, обеднение состава стали по марганцу в процессе электронно-лучевой 3D-печати и термической обработки способствует формированию макроскопически и микроскопически неоднородной двухфазной структуры. В образцах наблюдали макроскопические области неправильной формы с крупными ферритными зернами или двухфазной аустенитно-ферритной структурой (микроскопическая неоднородность). Несмотря на изменение концентрации базовых элементов (хрома и марганца) в результате процесса аддитивного роста, высокая концентрация атомов внедрения (азота и углерода) в стали сохраняется. Это способствует макроскопически гетерогенному распределению атомов внедрения в образцах – формированию пересыщенного твердого раствора внедрения в аустенитных областях за счет слабой растворимости азота и углерода в ферритной фазе. Сформированная таким образом неомогенная гетерофазная структура (феррит – аустенит) обладает высокими прочностными свойствами, хорошей пластичностью и деформационным упрочнением, близкими образцам исходной высокоазотистой аустенитной стали, используемой в качестве сырья для 3D-печати.

Ключевые слова: азотистая сталь, аддитивные технологии, электронно-лучевая 3D-печать, аустенит, феррит, пластическая деформация, разрушение.

Введение

Аддитивное производство (АП) является относительно новой и перспективной промышленной технологией изготовления деталей машин и механизмов, которая позволяет формировать металлические изделия различного размера и практически произвольной формы путем постепенного послойного осаждения материала на основе заранее построенной компьютерной трехмерной модели [1, 2]. К основным преимуществам аддитивных технологий (АТ) или, как их часто называют, 3D-печати относятся возможности быстрого прототипирования и изготовления полномасштабных изделий сложной формы, высокая производительность, относительно невысокая стоимость производства [1, 2]. В случае использования метода проволочного электронно-лучевого аддитивного производства (ЭЛАП) происходит послойная подача металлической проволоки (прутков) с одновременным ее плавлением источником энергии [1–3].

Аустенитная нержавеющая сталь используется как один из основных материалов для аддитивного производства благодаря хорошей пластичности, свариваемости и коррозионной стойкости [4–9]. Получаемые при аддитивном росте заготовки из нержавеющей стали обладают такими же недостатками, что и их аналоги, произведенные другими методами, – они имеют низкие значения предела текучести и для стабилизации аустенитной структуры требуют высокого содержания никеля, что приводит к удорожанию материала. Для процесса ЭЛАП обычно используют проволоку стандартных марок аустенитных нержавеющих сталей на хромоникелевой основе (X18H9, X18H9T и др.). Высокая скорость наплавки позволяет производить изделия различной формы и размеров, но их фазовый состав, микроструктура и механические свойства могут существенным образом отличаться от материала проволоки или прутков, используемых в качестве сырья для

* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2019-0030. Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «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>