

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Физическая мезомеханика.
Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина

в рамках
**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/352

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

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

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

В работе методами рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии, одноосного растяжения исследовали микроструктуру и механические свойства высокоазотистой стали, полученной путем электронно-лучевого аддитивного производства (3D-печати). Для 3D-печати заготовок (стенки) высокоазотистой стали использовали прутки квадратного сечения (3×3 мм) следующего химического состава: Fe-20,7Cr-22,2Mn-0,3Ni-0,6Si-0,15C-0,53N (масс. %). В процессе аддитивного производства были получены стенки размером $100 \times 30 \times 5$ мм. Для определения механических свойств стали из заготовок вырезали образцы в форме двойной лопатки с размерами рабочей части $1,25 \times 2,7 \times 12$ мм, ориентированные вдоль и поперек направления аддитивного роста. Растяжение образцов проводили при комнатной температуре с начальной скоростью деформации 5×10^{-4} с⁻¹.

Исходные прутки высокоазотистой стали, используемые для 3D-печати, после термообработки, заключавшейся в гомогенизации и закалке от 1150°C, обладают преимущественно аустенитной структурой (высокоазотистый аустенит) с 20% феррита. Образование последнего вызвано высокой концентрацией атомов хрома в исходном составе стали. В процессе аддитивного производства качественный элементный состав полученных заготовок сохраняется, но происходит существенное обеднение стали марганцем. Количественный состав полученной заготовки после роста, Fe-24,9Cr-10,8Mn-0,1Ni-0,6Si-0,1C-0,48N (масс. %), слабо зависит от положения в заготовке. Важной особенностью является то, что в процессе аддитивного производства не происходит существенного снижения объемного содержания азота в стали. Обеднение заготовки в процессе 3D-печати по марганцу, стабилизирующему ГЦК кристаллическую решетку, сопровождается формированием двухфазной аустенит-ферритной структуры с близким соотношением фаз. Обе фазы обогащены азотом, о чем свидетельствуют высокие значения параметров решетки, определенные методом рентгеноструктурного анализа: 0,362 нм для аустенита и 0,287 нм для феррита. Микроструктура образцов имеет дендритную морфологию, характерную для сталей, полученных методом аддитивного производства.

Результаты испытаний на одноосное растяжение показали, что образцы аддитивно-произведенной высокоазотистой стали характеризуются более низким условным пределом текучести (до 17%) и пределом прочности (до 20%) и удлинением до разрушения (до двух раз) по сравнению с образцами исходной стали, использованной в качестве сырья для 3D-печати. При этом получаемая в процессе аддитивного производства заготовка характеризуется существенной анизотропией механических свойств: образцы, вырезанные вдоль направления роста заготовки, обладают самыми низкими значениями предела текучести. В зависимости от ориентации образца по отношению к направлению выращивания и расстояния от подложки, на которой производилось выращивание стенки, величина предела текучести варьируется в пределах от 440 до 480 МПа, значения удлинения до разрушения от 30 до 40% (в исходной аустенитной стали эти величины составляют 530 МПа и 55% соответственно). Такая анизотропия свойств определяется особенностями микроструктуры стали, получаемой в процессе аддитивного роста, а именно анизотропией зеренной структуры и формированием направленных дендритных колоний феррита в аустените. Изменение механических свойств стали по сравнению с исходным материалом прутков обусловлено изменением ее фазового состава. Несмотря на снижение свойств по сравнению с исходным материалом, в процессе 3D-печати получается высокопрочная сталь с большим запасом пластичности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.2.7.