

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

## МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически  
организованной структурой и интеллектуальные  
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА СТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ  
3D-ПЕЧАТИ**

Астафурова Е.Г., Астафуров С.В., Мельников Е.В., Реунова К.А.,  
Москвина В.А., Панченко М.Ю., Майер Г.Г., Колубаев Е.А.  
*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

В работе обобщены экспериментальные данные о микроструктуре, фазовом составе и механических свойствах образцов хромоникелевых и хромомарганцевых сталей, полученных методом электронно-лучевого аддитивного производства (ЭЛАП). Для ЭЛАП использовали стали разного состава: Fe-19Cr-9Ni-0,95Si-0,12C (CrNi сталь), Fe-19Cr-10Ni-0,7Si-1,4Nb-0,12C (CrNiNb сталь), Fe-20,7Cr-22,2Mn-0,3Ni-0,6Si-0,15C-0,53N (CrMnNC сталь) и Fe-22,3Cr-19,9Mn-1,4V-0,69C-1,16N (CrMnVNC сталь) (масс. %). В процессе аддитивного производства получали стенки размером 100 × 30 × 5 мм, которые использовали для исследования микроструктуры и проведения механических испытаний методом одноосного растяжения.

В результате 3D-печати из CrNi и CrNiNb сталей получали заготовки с двухфазной  $\gamma+\delta$  микроструктурой дендритной морфологии. В результате формирования неоднородной ориентированной зеренной структуры аустенита и дендритной микроструктуры феррита внутри таких зерен, получаемые при 3D-печати заготовки обладают сильной анизотропией механических свойств. В стали CrNiNb, легированной ниобием для формирования дополнительных центров кристаллизации и подавления направленного роста зерен в процессе ЭЛАП, наряду с формированием неравноосной аустенитной структуры с колониями дендритов  $\delta$ -феррита происходит выделение интерметаллидных частиц на основе ниобия и железа. Такие частицы NbFeCrNi-фазы располагаются вдоль границ «аустенит/ $\delta$ -феррит» и границ аустенитных зерен. Легирование аустенитной нержавеющей стали ниобием частично подавляет образование  $\delta$ -феррита, но слабо влияет на направленный рост аустенитных зерен и способствуют охрупчиванию CrNiNb стали по сравнению с аддитивно-полученными образцами CrNi стали. На основе микроструктурных исследований сталей, полученных методом ЭЛАП предложено описание закономерностей их пластической деформации и дислокационный механизм, описывающий появление анизотропии механических свойств образцов, полученных методом аддитивного производства.

В процессе 3D-печати высокоазотистых сталей (CrMnNC и CrMnVNC) происходит обеднение элементного состава заготовок по марганцу в сравнении с исходным материалом, используемым для ЭЛАП, но концентрация атомов внедрения (азота и углерода) сохраняется высокой. В результате 3D-печати в стали CrMnNC происходит формирование двухфазной аустенит-ферритной структуры с близким соотношением фаз, но вследствие малой растворимости азота в феррите он полностью растворен в кристаллической решетке аустенитной фазы (концентрация азота в аустенитной фазе достигает 0,9 масс. % при интегральной концентрации в заготовке 0,5 масс. %). Механические свойства аддитивных заготовок высокоазотистых сталей близки к тем, которые получены для исходных, используемых в качестве сырья, материалов. Более высокая концентрация марганца и азота в исходной CrMnVNC стали, используемой для 3D-печати, полностью подавляют образование феррита в аддитивно-произведенных заготовках. При этом после аддитивного роста сталь помимо зерен аустенита содержит крупные частицы карбонитридов на основе ванадия и хрома, а также крупные частицы, соответствующие интерметаллидной фазе (Cr,Fe,Mn,V). В результате формирования такой гетерофазной микроструктуры образцы аддитивно-произведенной высокоазотистой стали CrMnVNC обладают высоким пределом текучести, но практически не деформируется пластически. Для высокоазотистых сталей описаны механизмы формирования их фазового состава в процессе ЭЛАП.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2019-0030.*