

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**Перспективные материалы**  
**с иерархической структурой**  
**для новых технологий**  
**и надежных конструкций**  
**9 - 13 октября 2017 года**  
**Томск, Россия**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Томск – 2017

## 7. Сварка, родственные процессы и технологии для создания технических систем ответственного и специального назначения, в том числе для эксплуатации в экстремальных условиях и низких климатических температур Арктики и Крайнего Севера

---

покрытием и основным металлом, можно выделить три участка, отличающихся макростроением.

Для образца, покрытие которого было сформировано за один проход, участок, непосредственно прилегающий к переходной зоне, имеет грубую мартенситно-бейнитную структуру. Далее формируются два участка, в которых уменьшается размер, как ферритных зерен, так и перлитных колоний. Это обусловлено для более нагретого металла перекристаллизацией, а для участка III – рекристаллизацией.

Для образца, наплавленного за два прохода электронного луча, участок с грубой мартенситно-бейнитной структурой отсутствует, что обусловлено меньшей температурой в ЗТВ при нанесении металла покрытия во втором проходе.

Покрытие имеет среднюю величину HV на уровне 7 ГПа. В ЗТВ для участков I и II характерно повышение микротвердости до 3,5...4 ГПа. Далее величина микротвердости спадает до исходного значения 2...2,5 ГПа, характерного для отожженной стали 40X.

### **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ ДЕТАЛЕЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

<sup>1,2</sup>Клименов В.А., <sup>1,3</sup>Клопотов А.А., <sup>2</sup>Федоров В.В.,  
<sup>1</sup>Абзаев Ю.А., <sup>2</sup>Батрагин А.В.

<sup>1</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск,

<sup>2</sup>Научный исследовательский Томский политехнический университет, Томск,

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск  
*nauka@tsuab.ru*

3D-печать с использованием металлов и сплавов основана на спекании металлического порошка. Одной из перспективных технологий создания изделий при помощи 3D-печати является применение электронно-лучевой наплавки (ЭЛН). Отметим одно из более существенных преимуществ использования электронных пучков высокой мощности. Этим методом можно получать более высокие разрешения в горизонтальной плоскости, чем при использовании технологии лазерной плавки. Поскольку прецизионную корректировку траектории электронного луча можно проводить при помощи магнитных полей.

Титановые сплавы относятся к перспективным конструкционным и функциональным материалам для изготовления ответственных деталей и изделий в космическом и авиационном машиностроении, а также и в медицине. Изготовление из титановых сплавов сложных по геометрическим формам объемных изделий помощи 3D-печати при помощи ЭЛН до сих пор остаётся не

## 7. Сварка, родственные процессы и технологии для создания технических систем ответственного и специального назначения, в том числе для эксплуатации в экстремальных условиях и низких климатических температур Арктики и Крайнего Севера

---

до конца решённой, но перспективной задачей физики конденсированного состояния.

Целью данной работы является исследование закономерностей слоистого строения изделий, полученных при помощи 3D-печати при помощи использования электронных пучков высокой мощности из титанового сплава VT1-0.

Сложные процессы спекания наплавки при помощи электронных пучков высокой мощности в титановых сплавах сопровождаются образованием промежуточных слоев. В результате в материале происходит формирование многоуровневых (иерархических) пространственно-временных структур, отражающие высокий градиент и перемещение в пустоты расплавленного сплава, уменьшая их объемы. Малые пустоты (поры в контакте) заполняются быстрее, чем пустоты большего размера, которые заполняются во вторую очередь. При этом, согласно классическим представлениям [1], перемещение расплавленного металла в пустоты связано действием как с пластическим течением, так и с поверхностной диффузией. При этом энергия поверхностного натяжения может проявить себя как главной движущей силой. Применение в настоящей работе метода компьютерной томографии с разрешающей способностью до 15 мкм позволило выявить особенности распределения макродефектов, образующихся в образце при послойном наращивании слоев сплава в вакууме путем ЭЛН слоев друг на друга.

Кроме того, в титановых сплавах, согласно литературным данным при изучении структуры сварных швов [2] показано, что наличие температурного градиента и разных скоростей охлаждения в разных локальных областях приводят к структурно-кинетической ступенчатости  $\beta \rightarrow \alpha$ -превращения. Это явление заключается в дискретном снижении температуры превращения при достижении критических значений скорости охлаждения. При этом наряду с образованием стабильных фаз происходит образование метастабильных фаз  $\beta$ -Ti,  $\omega$ -Ti,  $\alpha''$ -Ti и  $\alpha_2$ -Ti [2].

### Литература

1. Скороход В. В. //Порошковая металлургия. – 2014. – № 9/10. – С.44-63.
2. Лясоцкая В.С. Термическая обработка сварных соединений титановых сплавов. – М.:Экомет. – 2003. – 352 с.