

# **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

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ  
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФИЛАМЕНТОВ**

Григорьев А.С., Шилько Е.В., Колубаев Е.А.

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

Аддитивное производство (3D-печать) изделий композиционного состава в настоящее время становится одним из ведущих методов производства металлических компонентов и деталей для аэрокосмической, автомобильной и медицинской промышленности. Использование методов 3D-печати изделий дает ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами стационарной металлургии. Среди них - изготовление деталей сложной формы, которые не могут быть легко изготовлены путем традиционной обработки, а также возможность печати полиметаллических изделий, макрогетерогенная структура которых образована чередующимися слоями различных металлов. Все эти преимущества могут быть эффективно реализованы при использовании электронно-лучевого аддитивного производства (EBAM) с металлическими проволоками, которое характеризуется гораздо большей скоростью осаждения материала по сравнению с технологией с порошковым сырьем.

Помимо объемного содержания компонентов, интегральные механические характеристики композиционных материалов определяются механическими свойствами интерфейсных зон. В частности, биметаллических композитах, получаемых методом EBAM, объемная доля интерфейсных зон может варьироваться в широких пределах в зависимости от технологических параметров. Механические характеристики интерфейсов могут существенно отличаться от характеристик обоих металлических материалов в случае формирования дисперсных включений интерметаллических фаз. Поэтому, несмотря на относительно малую объемную долю интерфейсных зон, их влияние на характеристики механического отклика, включая прочность, полиметаллических образцов может быть существенным. Это определяет актуальность изучения влияния механических характеристик и объемной доли интерфейсных зон между разнородными слоями на интегральные параметры механического отклика полиметаллических слоистых композиционных материалов. Проведение таких исследований для биметаллических композиционных материалов являлось целью настоящей работы. Исследование проводилось методом компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов. Создание конечно-элементной модели и выполнение расчетов проводилось с использованием программного продукта CAE Fidesys.

Исследования проводились на примере представительных мезомасштабных биметаллических образцов с чередующимися разнородными слоями одинаковой толщины. В качестве материалов слоев изучаемых биметаллических образцов рассматривались конструкционная высоколегированная коррозионно-стойкая жаропрочная сталь 12X18H9T и титановый сплав ВТ6. Экспериментальные исследования показывают, что интерфейсные зоны в таких полиметаллических образцах могут быть обогащены дисперсными включениями интерметаллидов (в частности, Ni<sub>3</sub>Al). Влияние этих включений на эффективные механические свойства интерфейсов учитывалось в рамках модели смеси.

Результаты исследования показали важность учета не только геометрических параметров (толщины) интерфейсов разнородных металлических филаментов, но и особенностей их механических характеристик, связанных с формированием дисперсных выделений интерметаллических соединений в процессе кристаллизации. Несмотря на относительно небольшую объемную долю интерфейсных зон, концентрация интерметаллических включений на границах раздела разнородных филаментов оказывает значимое влияние на характер деформационного упрочнения образцов, в первую очередь, на

### Секция 3. Компьютерное моделирование и дизайн материалов с иерархически организованной структурой

---

начальном участке неупругого деформирования.

Важными характеристиками полиметаллических материалов, получаемых методом электронно-лучевого аддитивного производства из металлических филаментов с существенно различающимися механическими свойствами, являются значения прочности и работы разрушения. Результаты моделирования показали, что величина прочности столбцов разнородных филаментов может быть с хорошей точностью оценена на основе линейной интерполяции значений прочности материалов филаментов и «межфиламентных» интерфейсных зон с весовыми коэффициентами, равными объемным долям этих компонентов композиции.

На основании проведенных исследований сформулированы рекомендации к компьютерному дизайну структуры полиметаллических материалов и изделий и их получению методом электронно-лучевого аддитивного производства из разнородных металлических филаментов.