

# **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

**УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ И МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ Ti-6Al-4V, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ 3D-ПЕЧАТИ**

Казаченок М.С., Панин А.В., Синякова Е.А., Мартынов С.А.

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

В настоящее время уделяется повышенное внимание к исследованию и разработке аддитивных технологий получения деталей из титановых сплавов для сложных узлов аэрокосмической, транспортной и оборонной техники. Микроструктура 3D-напечатанных изделий существенно отличается от микроструктуры аналогичных изделий, изготовленных методами литья и штамповки. В частности, вследствие быстрой кристаллизации ванны расплава, ее направленного охлаждения, а также многократных фазовых переходов, вызванных повторяющимися термическими циклами, микроструктура 3D-напечатанных образцов широко используемого титанового сплава Ti-6Al-4V состоит из первичных зерен  $\beta$  фазы, содержащих игольчатую  $\alpha$  фазу или мартенситную  $\alpha'$  фазу. Как следствие, 3D-напечатанные образцы Ti-6Al-4V характеризуются высокой прочностью, однако относительно низкими значениями пластичности и ударной вязкости. Увеличение ударной вязкости 3D-напечатанных образцов Ti-6Al-4V может быть достигнуто за счет увеличения протяженности границ раздела между первичными  $\beta$  зернами, а также пластинами  $\alpha$  и  $\alpha'$  фаз, являющихся препятствиями на пути распространения трещины, равно как и местами бифуркации для роста трещин. Последнее открывает широкие перспективы использования метода 3D печати, основанного на плавлении подаваемого проволочного материала под действием электронного излучения (англ. Electron Beam Free Form Fabrication, EBF<sup>3</sup>). В отличие от методов электронно-лучевого (англ. Electron-beam melting, EBM) и селективного лазерного плавления (англ. Selective laser melting, SLM) порошкового фидстока, метод EBF<sup>3</sup> характеризуется минимальной скоростью охлаждения ванны расплава, и, следовательно, максимальным размером микроструктурных элементов. В настоящей работе проведен сравнительный анализ механизмов зарождения и распространения трещины в SLM, EBM и EBF<sup>3</sup> образцах титанового сплава Ti-6Al-4V при ударном нагружении.

Проведен сравнительный анализ характеристик ударной вязкости образцов Ti-6Al-4V, полученных методами селективного лазерного плавления порошка, а также электронно-лучевой плавки порошка или проволоки соответствующего состава. Показано, что ударная вязкость EBF<sup>3</sup> образцов Ti-6Al-4V достигает 76 Дж/см<sup>2</sup>, что существенно превышает ударную вязкость SLM и EBM образцов, величина которой составляет 16 Дж/см<sup>2</sup>. Установлено, что малый размер первичных  $\beta$  зерен и мартенситных  $\alpha'$  пластин, а также малое количество остаточной  $\beta$  фазы обуславливают низкую (11 Дж) энергию зарождения трещины вследствие быстрой потери устойчивости однородной пластической деформации SLM образцов Ti-6Al-4V в зоне, примыкающей к надрезу. Увеличение размера мартенситных кристаллов в EBM и EBF<sup>3</sup> образцах Ti-6Al-4V способствует увеличению степени пластической деформации в зоне, примыкающей к надрезу, и, соответственно, увеличению энергоёмкости процесса зарождения трещины. Низкое значение энергии распространения трещины в SLM и EBM образцах Ti-6Al-4V (4 и 2 Дж соответственно) обусловлено малым размером микроструктурных элементов, способствующим уменьшению длины распространения трещины. Наличие в EBF<sup>3</sup> образцах Ti-6Al-4V больших первичных  $\beta$  зерен, состоящих из крупных кристаллов пакетного мартенсита, а также прослойки относительно мягкой и пластичной остаточной  $\beta$  фазы по границам  $\alpha$  пластин, приводит к существенному увеличению интенсивности пластического течения перед вершиной трещины, приводя к увеличению энергии ее распространения при ударном нагружении.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №18-19-00559).*