

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«Перспективные материалы с иерархической структурой  
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

1

DOI: 10.17223/9785946217408/222

**ВЛИЯНИЕ ТИПА ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ НА ОТКОЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ (A+B) – СПЛАВА Ti–Al–V ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАНОСЕКУНДНОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА**

<sup>1</sup>Дударев Е.Ф., <sup>2</sup>Марков А.Б., <sup>1,3</sup>Малеткина Т.Ю., <sup>1</sup>Хабибуллин М.В., <sup>2</sup>Яковлев Е.В.,  
<sup>1</sup>Бакач Г.П., <sup>1</sup>Скосырский А.Б., <sup>1</sup>Галсанов С.В

<sup>1</sup>НИ Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>2</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

<sup>3</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

Для расширения возможностей использования ультрамелкозернистых сплавов в изделиях ответственного назначения, эксплуатируемых в экстремальных условиях при наличии импульсного ударно–волнового нагружения, необходимо определить закономерности и механизм откольного разрушения при разном типе зеренной структуры. Однако при использовании в качестве источника ударной волны электронного пучка в наносекундной области действия нагрузки ограничивались двумя размерами зерен (крупнозернистым и ультрамелкозернистым). Чтобы восполнить этот пробел, в настоящей работе в качестве мишеней для облучения наносекундным электронным пучком использовали широко используемый в технике ( $\alpha+\beta$ ) – сплав Ti–6,2%Al–4,0%V (% вес.) с двумя ультрамелкозернистыми и двумя мелкозернистыми структурами. Для формирования ультрамелкозернистой структуры со средним размером зерен 0,7 мкм использовали метод теплого *авс* – прессования при ступенчатом понижении температуры прессования с 1073 К до 973 К. Чтобы уменьшить внутренние напряжения и вместо одномодального сформировать бимодальное распределение зерен по размерам с сохранением ультрамелкозернистой структуры, заготовки после *авс* – прессования отжигали 1 час при 973 К. Для получения мелкозернистой рекристаллизованной структуры с размером зерен 4 мкм и меньше 8 мкм температура отжига была повышена соответственно до 1073 К и 1173 К. При всех зеренных структурах объемная доля  $\beta$  – фазы составляла ~9%.

При экспериментальном исследовании и физико–математическом моделировании откольного разрушения использовали одинаковые параметры электронного пучка: диаметр электронного пучка  $\approx 6$  МэВ, длительность импульса 50 нс, средняя плотность мощности электронного пучка на мишени  $1,65 \cdot 10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup>. При каждой зеренной структуре для облучения электронным пучком использовали мишени толщиной 2, 3, 4 и 5 мм.

В рамках осесимметричной физико–математической модели рассчитаны поля массовой скорости, температуры и давления; динамика ударной волны и формируемой у тыльной поверхности мишени волны растяжения; величина откольного импульса и толщина откалываемого слоя. Согласно этим расчетам независимо от типа зеренной структуры в расплавляемом слое возникает зона высокого давления с напряжением сжатия 18,5 ГПа, а затем в твердой фазе формируется ударная волна с амплитудой 13 ГПа. В дальнейшем происходят изменения в распределении векторов массовой скорости и амплитуды ударной волны. При этом независимо от типа зеренной структуры и толщины мишени при наносекундной длительности нагрузки откольному разрушению предшествуют три структурно–масштабных уровня нарушения сплошности материала: зарождение и увеличение размера пор; образование между порами микротрещин под разными углами и направлению распространения электронного пучка; объединение микротрещин с образованием одной или двух макротрещин. Расстояние между порами и вследствие этого длина микротрещин тем больше, чем больше размер зерен.

Так как плотность мощности в разных местах поперечного сечения использованного электронного пучка разная, фронт ударной волны тоже неплоский. Поэтому под разными углами к направлению распространения электронов образуются не только микротрещины отрыва, но и микротрещины скола и поверхность откольного разрушения негладкая. При обеих ультрамелкозернистых и обеих мелкозернистых структурах механизм откольного

#### **Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации**

---

разрушения вязкий с ямками вязкого отрыва, размер которых зависит от типа зеренной структуры.

Полученные экспериментальные данные показали, что в физико–математической модели откольного разрушения в наносекундной области действия нагрузки необходимо учесть не один, а три структурно–масштабных уровня нарушения сплошности поликристаллических металлов и сплавов: микроуровень – возникновение пор, мезоуровень – образование между порами микротрещин; макроуровень – объединение нескольких микротрещин в одну макротрещину, рост которой приводит к откольному разрушению.