

# **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

**ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ 12 %-НЫХ ХРОМИСТЫХ  
ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ ЭК-181, ЧС-139 И ЭП-823  
В ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБЛАСТИ ИХ ВЯЗКО-ХРУПКОГО ПЕРЕХОДА**

<sup>1,2</sup>Полевина Н.А., <sup>1,2</sup>Алмаева К.В., <sup>1,2</sup>Литовченко И.Ю.,

<sup>1,2</sup>Тюменцев А.Н., <sup>3</sup>Чернов В.М., <sup>3</sup>Леонтьева-Смирнова М.В.

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

<sup>2</sup>НИ Томский государственный университет, Томск

<sup>3</sup>АО «ВНИИИМ им. академика А.А. Бочвара», Москва

Для снижения склонности реакторных жаропрочных ферритно-мартенситных сталей к низкотемпературному охрупчиванию, необходимо детальное изучение закономерностей их разрушения в области температур хрупко-вязкого перехода. В настоящей работе проведено сравнительное исследование особенностей разрушения перспективных 12 %-ных хромистых ферритно-мартенситных сталей ЭК-181 (RUSFER-EK-181: Fe-12Cr-2W-V-Ta-B), ЧС-139 (Fe-12Cr-Ni-Mo-W-Nb-V-B) и ЭП-823 (Fe-12Cr-Mo-W-Si-V-W-Nb) в интервале температур от -196 до 20 °С.

Исследования поверхностей излома проводили методом сканирующей электронной микроскопии с использованием микроскопа Quanta 200 3D на образцах, разрушенных в ходе ударных испытаний (плоские стандартные образцы размерами 5,0×10,0×55,0 мм с V-образным надрезом глубиной 1,5 мм) и после активного растяжения (плоские образцы в форме двойных лопаток с размером рабочей части 13,0×2,0×1,0 мм). Температура испытаний на ударную вязкость составляла T = -15, -40, -70 °С. Испытания на растяжение проводили в интервале от -196 до 20 °С со скоростью деформации  $\approx 2 \times 10^{-3} \times \text{с}^{-1}$ . Все образцы были обработаны по традиционному режиму (ТТО: нормализация при T = 1100 °С, 1 ч. + отпуск при T = 720 °С, 3 ч.).

Фрактографическое исследование образцов после ударных испытаний показало, что при всех рассматриваемых температурах характер их разрушения качественно подобен. Наблюдается преимущественно хрупкое (сколом) разрушение. Локально встречаются элементы вязкого разрушения, однако их доля невелика. Согласно [1], в зависимости от типа образцов и напряженных состояний (усталостная трещина, боковые V-надрезы) температура вязко-хрупкого перехода стали ЭК-181 после ТТО принимает значения от -85 до +35 °С. Таким образом, характер разрушения при понижении температуры ударных испытаний до -70 °С оказывается нечувствительным к происходящему в материале переходу из вязкого состояния в хрупкое, которое отражается на температурной зависимости ударной вязкости.

Однотипность особенностей микроструктуры и характера температурных зависимостей пределов текучести и величин относительного удлинения до разрушения при растяжении сталей ЭК-181, ЧС-139 и ЭП-823 в интервале температуры деформации от -196 до 20 °С сопровождается, как показали сравнительные исследования поверхностей разрушения сталей, качественно аналогичным видом их разрушения.

При температурах от -95 до 20 °С разрушение сталей характеризуется значительной макролокализацией деформации, сопровождаемой формированием шейки, развитым рельефом поверхности разрушения. При T = -196 °С образования шейки не обнаружено: происходит значительный рост предела текучести, в то время как величина относительного удлинения до разрушения снижается до  $\delta \approx 2$  %. Особенностью фрактограмм после растяжения при T  $\leq 20$  °С является переход в процессе снижения температуры от вязкого ямочного излома к хрупкому разрушению сколом. В максимальной степени этот переход проявляется в окрестности хрупко-вязкого перехода, определенного из ударных испытаний. В интервале температуры от 20 до -50 °С наблюдается преимущественно вязкий ямочный излом с элементами скола. Хрупкий характер разрушения с многочисленными фасетками скола и значительным снижением доли вязкого ямочного излома обнаруживается уже при

#### **Секция 4. Научные основы разработки материалов с многофазной иерархически организованной структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации**

температуре деформации  $T \approx -80$  °С. При  $T = -196$  °С элементы вязкого излома не обнаружены.

Таким образом, фрактографические исследования образцов после испытаний на активное растяжение в состоянии после ТТО оказываются более чувствительными, по сравнению с испытаниями на ударную вязкость, к происходящему в материале вязко-хрупкому переходу при снижении температуры испытаний в области отрицательных температур. При этом определение конкретной температуры перехода от вязкого разрушения к хрупкому по виду излома не представляется возможным.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.2.6, а также при поддержке гранта РФФИ № 19-48-700020 p\_a и Администрации Томской области.*

1. Chernov V.M., Moroz K.A., Kardashev B.K. Cold brittleness and fracture of metals with various crystal lattices: Dislocation mechanisms // Technical physics. 2016. V. 61. №7. P. 1015-1022.