

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: 10.17223/9785946217408/262

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВ,
ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ МАЛОАКТИВИРУЕМОЙ
12 Cr ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЭК-181 В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР
ОТ -196 °С ДО 720 °С**

^{1,2}Полехина Н.А., ²Алмаева К.В., ^{1,2}Литовченко И.Ю.,

^{1,2}Тюменцев А.Н., ³Чернов В.М., ³Леонтьева-Смирнова М.В.

¹ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

²НИ Томский государственный университет, Томск, Россия

³АО «ВНИИНМ им. академика А.А. Бочвара», Москва, Россия

Nadejda89tsk@yandex.ru

Проведено комплексное исследование закономерностей изменения кратковременных прочностных и пластических свойств перспективной малоактивируемой жаропрочной 12 %-ной хромистой стали ЭК-181 (16X12B2ФТаР) в интервале температур от -196 °С до 720 °С методом активного растяжения, особенностей ее пластической деформации и разрушения методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии. Образцы стали были обработаны по традиционному режиму термообработки (ТТО), включающему в себя закалку от $T = 1100$ °С (выдержка 1 ч) в воду и отпуск при $T = 720$ °С (выдержка 3 ч).

На кривой температурной зависимости предела текучести стали ЭК-181 (рис. 1) обнаружено несколько характерных интервалов:

1. Интервал от -50 °С до 450 °С, в котором относительно слабая зависимость предела текучести от температуры близка к линейной и может быть охарактеризована величиной $\Delta\sigma_{0.1}/\Delta T \approx 0.2$ МПа/град. Высокие значения характеристик прочности и их относительно слабая температурная зависимость в этом интервале определяются высокой эффективностью дисперсного упрочнения наноразмерными частицами фазы V(C, N). Характер температурной зависимости предела текучести определяется здесь температурной зависимостью модуля Юнга.

2. Переходная область от -50 °С до -80 °С, в которой наблюдается изменение наклона кривых $\sigma_{0.1} - T$ и разброс значений предела текучести.

3. Низкотемпературная область от -196 °С до -80 °С, температурная зависимость предела текучести в которой ($\Delta\sigma_{0.1}/\Delta T \approx 2.4$ МПа/град) увеличивается, по сравнению с интервалом 1, примерно на порядок. Такая сильная температурная зависимость $\sigma_{0.1}$ связывается обычно с сильной зависимостью от температуры напряжения движения дислокаций в кристаллическом рельефе ОЦК решетки (напряжение Пайерлса, твердые растворы примесей внедрения).

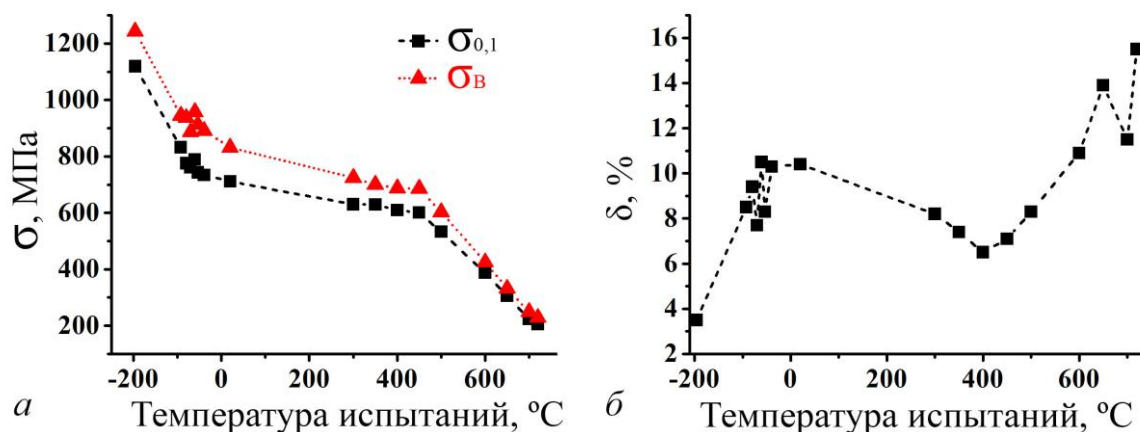


Рис. 1. Температурная зависимость механических свойств стали ЭК-181 в интервале от $T = -196$ °С до 720 °С: *a* – пределы текучести ($\sigma_{0.1}$) и прочности (σ_B); *б* – относительное удлинение до разрушения (δ)

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

4. Температурный интервал выше 450 °С со значительно более интенсивным, по сравнению с интервалом 1, примерно линейным ($\Delta\sigma_{0.1}/\Delta T \approx 1.5$ МПа/град) снижением предела текучести в процессе повышения температуры деформации, обусловленным уменьшением напряжения Орована при $T \geq 450$ °С вследствие термически активируемых процессов преодоления наноразмерных частиц скользящими дислокациями («переползание-скольжение»). Тем не менее, достаточно высокий ($\sigma_{0.1} \geq 300$ МПа) уровень кратковременной прочности в исследуемой стали сохраняется вплоть до $T \approx 650$ °С.

При $T \approx 400$ °С наблюдается минимум температурной зависимости величины относительного удлинения до разрушения, появление которого обусловлено эффектами динамического деформационного старения.

Исследование поверхности разрушения показало, что особенностью фрактограмм после деформации при низких (менее 20 °С) температурах 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 ($T_{хв} \approx (-85)–35$ °С), определенного из ударных испытаний стали [1]. В интервале температур от 20 °С до -60 °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 температуре деформации $T \approx -80$ °С. При $T = -196$ °С элементы вязкого излома не обнаружены.

В диапазоне положительных температур в интервале слабой температурной зависимости предела текучести (от 20 °С до 500 °С) наблюдается преимущественно ямочный (чашечный) излом с различной долей разрушения сколом. При комнатной температуре эта доля в различных участках поверхности разрушения может достигать (10–20) %. В процессе повышения температуры деформации она постепенно уменьшается и при $T \approx (400–500)$ °С разрушения сколом не обнаружено.

В температурном интервале выше ≈ 500 °С в условиях значительного снижения характеристик прочности и повышения пластичности изменение характера разрушения заключается в увеличении размера чашек вязкого разрушения. При $T \leq 500$ °С размеры подавляющего большинства таких чашек не превышают 1–2 мкм. В достаточно узком интервале от 500 °С до 650 °С эти размеры увеличиваются на порядок, достигая значений около 10 и более микрон.

Таким образом, в интервале от температуры жидкого азота до 720 °С закономерности изменения пластичности и характера разрушения стали ЭК-181 тесно связаны с особенностями температурной зависимости предела текучести.

Электронно-микроскопические исследования тонких фольг, вырезанных из области шейки разрушенных при температурах $T = -80$ °С, 20 °С, 450 °С и 650 °С образцов показали, что деформированная при разных температурах микроструктура стали качественно подобна. Как и в недеформированном состоянии (после ТТО) она представлена отпущенным пакетным мартенситом с шириной ламелей субмикронного масштаба и зёрнами феррита размерами в несколько мкм. Размеры частиц вторых фаз ($M_{23}C_6$ и $V(CN)$) также не претерпевают заметных изменений. При 650 °С наблюдаются многочисленные равноосные зёрна феррита размерами 400–600 нм, что свидетельствует о протекании начальных стадий рекристаллизации.

Работа выполнена при поддержке Стипендии президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям развития российской экономики (2016–2018 гг.).

Литература

1. Чернов В.М., Ермолаев Г.Н., Леонтьева-Смирнова М.В. Вязкость разрушения хромистой (12 %) ферритно-мартенситной стали ЭК-181 при нагружении на сосредоточенный изгиб // Журнал технической физики. 2010. Т. 2. Вып. 7. С. 72–77.