

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

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

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/240

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАННОЙ МИКРОСТРУКТУРЫ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЭК-181 ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

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

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

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

²*Томский государственный университет, Томск*

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

Жаропрочные 12 %-ные хромистые ферритно-мартенситные стали рассматриваются как перспективные конструкционные материалы для использования в активных зонах ядерных и термоядерных реакторов нового поколения. С целью расширения интервала рабочих температур сталей данного класса необходимо повышение их высокотемпературной прочности при сохранении достаточного запаса низкотемпературной пластичности. Указанные задачи решаются с помощью модификации микроструктуры сталей путем термических и термомеханических обработок.

В [1, 2] показаны возможности модификации микроструктуры ферритно-мартенситных сталей с помощью высокотемпературных термомеханических обработок (ВТМО), включающих пластическую деформацию в аустенитной области. ВТМО приводит к повышению эффективности дисперсного и субструктурного упрочнения за счет увеличения плотности дислокаций и объемной доли наноразмерных частиц карбонитридных фаз. Указанная модификация микроструктуры обеспечивает повышение прочностных свойств ферритно-мартенситных сталей относительно состояний, полученных в результате традиционных термических обработок (ТТО), состоящих из нормализации и высокого отпуска (720 °С, 3 ч.). Особенности пластической деформации этих сталей при различных, в том числе близких к рабочим (650 – 720 °С), температурах остаются недостаточно изученными.

Представлены результаты исследований механических свойств ферритно-мартенситной стали ЭК-181 (Fe–12Cr–1,1W–0,25V–0,08Ta–0,006B–0,15C–0,04N), деформированной растяжением при T = 20, 650 и 720 °С и особенностей деформированной микроструктуры образцов вблизи шейки после ВТМО. Обработка состояла из аустенизации с нагревом T = 1100 °С, 1 ч., горячей пластической деформации прокаткой до величины $\varepsilon \approx 50\%$ с последующей закалкой в воду. После деформации проводили отпуск при T = 720 °С, 1 ч.

Механические испытания осуществляли методом активного растяжения при T = 20 °С, и 650 °С и 720 °С в вакууме. Структурные исследования проводили с помощью просвечивающего электронного микроскопа Philips CM12 при ускоряющем напряжении 120 кВ. Тонкие фольги для микроскопии были подготовлены из области вблизи шейки с использованием фокусированной ионно-лучевой системы Hitachi FB-2100.

Испытания на растяжение показали, что при изученных температурах пределы текучести и прочности стали ЭК-181 после ВТМО превышают соответствующие значения после ТТО [2] на ≈ 180 МПа при 20 °С и 80-110 МПа при 650 °С и 720 °С. Увеличение прочности стали в условиях ВТМО связано с повышением эффективности дисперсного упрочнения наноразмерными частицами V(C, N) и субструктурного упрочнения за счет повышения плотности дислокаций. Величина относительного удлинения после ВТМО на $\approx 1.5-4\%$ ниже, чем в случае ТТО.

Исследования особенностей микроструктуры стали вблизи области шейки после растяжения при 20 °С показали, что в процессе пластической деформации мартенситные ламели испытывают изгиб и фрагментацию с образованием новых малоугловых границ.

Пластическая деформация вблизи интервала рабочих температур (650 - 720°С) приводит к развитию динамической полигонизации, рекристаллизации и изменениям в карбидной подсистеме. При этом исходные вытянутые мартенситные ламели трансформируются в более равноосные фрагменты с мало- и высокоугловыми границами разориентации. В отдельных

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

фрагментах наблюдается высокая плотность дислокаций, которые закреплены мелкодисперсными частицами V(C, N). Размеры грубодисперсных частиц $M_{23}C_6$ в области шейки увеличиваются по сравнению с таковыми в недеформированном состоянии. Размер большинства зерен или фрагментов не превышает 500 нм, что меньше, чем в случае деформированной структуры после ТТО (400 – 800 нм), плотность наноразмерных частиц V(C, N) после ВТМО значительно больше, чем после ТТО.

Повышенная плотность дислокаций и наноразмерных частиц V(C, N), сформированных в условиях ВТМО, препятствует развитию пластической деформации, в том числе при температурах 650 и 720 °С. При этом процессы динамической полигонизации и рекристаллизации развиваются менее интенсивно, чем после ТТО. Это приводит к меньшим средним размерам фрагментов или зерен вблизи области шейки деформированных образцов. Указанные структурные особенности обеспечивают повышенный уровень прочностных свойств стали после ВТМО и меньшие значения относительного удлинения при изученных температурах.

1. Almaeva K.V., Polekhina N.A., Litovchenko I.Yu. A comparative investigation of mechanical properties of the ferritic-martensitic steel EK-181 in the temperature range 700-800 °C after high-temperature thermomechanical and traditional heat treatments // AIP Conference Proceedings. – 2018. – PP. 020009-1–020009-4.
2. Polekhina N.A., Litovchenko I.Y., Tyumentsev A.N., Kravchenko D.A., Chernov V.M., Leontyeva-Smirnova M.V. Effect of High-Temperature Thermomechanical Treatment in the Austenite Region on Microstructure and Mechanical Properties of Low-Activated 12% Chromium Ferritic-Martensitic Steel EK-181 // Technical Physics. 2017. Vol. 62, № 5. P. 736-740.