

## **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»**

Томск  
Издательский Дом ТГУ  
2019

DOI: 10.17223/9785946218412/241

**ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЭП-823 ПОСЛЕ  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

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

<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>Томский государственный университет, Томск

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

Изучено влияние высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) с деформацией в аустенитной области на структурно-фазовое состояние и механические свойства реакторной ферритно-мартенситной 12 %-ной хромистой стали ЭП-823 (Fe-12Cr-Mo-W-Si-V-W-Nb).

ВТМО включала в себя нагрев до температуры 1100 °С с выдержкой 1 ч., горячую пластическую деформацию прокаткой до величины  $\epsilon \approx 50$  % за один проход (прокатный стан находился при комнатной температуре; температура образца на выходе из стана – не ниже 650 °С) и последующую закалку в воду. После ВТМО проводили отпуск при  $T = 720$  °С в течение 1 ч. Традиционная термическая обработка (ТТО) для сталей такого класса состоит из нормализации от  $T = 1100$  °С, 1 ч. и отпуска при  $T = 720$  °С (3 ч).

Электронно-микроскопические исследования показали, что после ВТМО микроструктура стали представлена ламелями мартенсита шириной около 500 нм и ферритными зёрнами субмикронного масштаба. В ферритно-мартенситной структуре обнаружены наноразмерные частицы карбонитрида типа MX (M – V, Nb, X – C, N) диаметром до 20 нм. Помимо указанных частиц наблюдаются грубодисперсные выделения карбидов  $M_{23}C_6$ , имеющие размеры до 200 нм и располагающие преимущественно внутри мартенситных пластин и зёрен феррита.

Сравнительные исследования микроструктуры стали ЭП-823 после ТТО и ВТМО показали, что основные различия между обработками заключаются, во-первых, в уменьшении в результате ВТМО плотности частиц  $M_{23}C_6$ ; во-вторых, в повышении плотности дислокаций, в третьих, в увеличении объёмной доли и дисперсности частиц V (C, N). Кроме того важно отметить, что в режиме ВТМО образование частиц MX происходит в аустенитной фазе в процессе пластической деформации и охлаждения из аустенитной области, в то время как при ТТО они формируются в процессе отпуска при 720 °С.

Исследование кратковременных механических свойств стали ЭП-823 показало, что при комнатной температуре испытаний ВТМО приводит к значительному ( $\Delta\sigma_{0,1} \leq 253$  МПа) увеличению предела текучести, по сравнению с ТТО (таблица). При повышенной температуре испытаний ( $T = 650$  °С) эффекты упрочнения менее значительны ( $\leq 74$  МПа). Величина относительного удлинения до разрушения при этом сохраняется на достаточно высоком уровне (не ниже 8 %, таблица).

Таблица – Механические свойства стали ЭП-823 после ВТМО и ТТО.

Режим обработки	Температура испытаний			
	T = 20 °C		T = 650 °C	
	$\sigma_{0,1}$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_{0,1}$ , МПа	$\delta$ , %
ТТО	650 – 734	12.8 – 13.1	296 – 347	9.7 – 11.7
ВТМО	856 – 903	8 – 10	345 – 370	13.5 – 16.7

Таким образом, сформированная в результате ВТМО гетерофазная структура с высокой дисперсностью наноразмерных частиц типа MX и повышенной плотностью дислокаций за счет повышения эффективности совместного дисперсного и субструктурного упрочнения обеспечивает значительное увеличение, по сравнению с ТТО, предела текучести стали ЭП-823 как при комнатной температуре испытаний, так и в интервале предполагаемых рабочих температур ( $T = 650$  °С) активной зоны реактора.