

## **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: 10.17223/9785946218412/226

**ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ МИКРОСТРУКТУРЫ  
И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖАРОПРОЧНОЙ МАЛОАКТИВИРУЕМОЙ  
12%-Cr ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЭК-181**

<sup>1,2</sup>Полехина Н.А., <sup>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>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

Nadejda89tsk@yandex.ru

Исследована термическая стабильность микроструктуры и кратковременных механических свойств на растяжение малоактивируемой 12 %-ной хромистой ферритно-мартенситной стали ЭК-181 (16X12В2ФТаР) в интервале температур 700-800 °С. Исследования проводили после традиционной термической обработки (ТТО: нормализация при T = 1100 °С, 1 ч. + отпуск при T = 720 °С, 3 ч.) и ТТО + дополнительный отжиг в течение 1 часа при температуре испытания.

Электронно-микроскопические исследования показали, что дополнительные часовые отжиги стали ЭК-181 в исследуемом интервале температур не приводят к кардинальным изменениям гетерофазной структуры, полученной в результате традиционной термической обработки. Однако наблюдаются некоторые различия.

Отжиг при 750 °С после ТТО приводит к значительному увеличению плотности грубодисперсных частиц  $M_{23}C_6$ . Кроме того, в отличие от состояния без отжига (ТТО), где они преимущественно располагаются по границам мартенситных ламелей, после такой обработки карбиды  $M_{23}C_6$  наблюдаются также внутри ферритно-мартенситной структуры.

Повышение температуры отжига до 800 °С помимо увеличения объемной доли частиц  $M_{23}C_6$  приводит к формированию новых ферритных зерен благодаря развитию начальных стадий рекристаллизации. Происходит уменьшение плотности малоугловых границ с последующей трансформацией отпущенного мартенсита в ферритную структуру и увеличением средних размеров ферритных зерен. Тем не менее, размеры фрагментов ферритно-мартенситной структуры после указанного выше отжига остаются в пределах субмикроструктурного масштаба.

Важно отметить, что размеры мелкодисперсных ( $\leq 10$  нм) частиц карбонитрида ванадия V(C, N) в процессе отжигов при T = 700-800 °С практически не изменяются, что свидетельствует об их значительно более высокой, по сравнению с частицами  $M_{23}C_6$ , термической стабильности.

При исследовании кратковременных механических свойств на растяжение образцов стали после ТТО установлено, что увеличение температуры испытаний от 700 °С до 800 °С приводит примерно к двукратному (от  $\approx 225$  МПа до  $\approx 105$  МПа, таблица) снижению величины предела текучести ( $\sigma_{0,1}$ ) стали ЭК-181.

Таблица. Механические свойства стали ЭК-181 в интервале температур 700-800 °С.

Температура испытаний, °С	Режим обработки			
	ТТО		ТТО + отжиг при температуре испытаний	
	$\sigma_{0,1}$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_{0,1}$ , МПа	$\delta$ , %
700	225	11	236	25
750	153	28	136	36
800	105	44	74	34

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

---

Сравнительные исследования прочностных свойств стали в состояниях после ТТО и ТТО + дополнительный отжиг в условиях растяжения при температуре отжига показали (таблица), что:

- отжиг при  $T = 700$  °С не приводит к снижению предела текучести, величина относительного удлинения до разрушения при этом увеличивается примерно в 2 раза;
- после отжига при  $T = 750$  °С значения  $\sigma_{0,1}$  снижаются незначительно (на  $\approx 10$  %).
- существенное различие (на  $\approx 30$  %) между значениями предела текучести до и после дополнительного отжига обнаружены только при 800 °С.

Сравнение с результатами электронно-микроскопических исследований свидетельствует о том, что снижение прочности стали после отжигов при 750-800 °С связано с увеличением объемной доли ферритной составляющей и размеров зерен феррита в результате процессов трансформации отпущенного мартенсита в ферритно-карбидную смесь, интенсивность которых увеличивается с ростом температуры.

На основе проведенных исследований можно заключить, что ферритно-мартенситная сталь ЭК-181 обладает достаточно высокой термической стабильностью микроструктуры и прочностных свойств вплоть до  $T \approx 750$  °С.

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 (2019-2021 гг.).