

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-257

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ПАРАМЕТРЫ МИКРОСТРУКТУРЫ ЖАРОПРОЧНЫХ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ ЭК-181 И ЭП-823

¹Алмаева К.В., ¹Полехина Н.А., ¹Литовченко И.Ю., ¹Химич М.А.,

²Линник В.В., ³Чернов В.М., ³Леонтьева-Смирнова М.В.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

²Национальный Исследовательский Томский государственный университет, Томск

³АО ВНИИНМ им. академика А.А. Бочвара, Москва

В настоящее время в качестве приоритетных конструкционных материалов для активных зон и внутрикорпусных устройств энергетических ядерных и термоядерных реакторов нового поколения рассматриваются жаропрочные 9-12 %-ные хромистые стали ферритно-мартенситного класса с быстрым спадом наведенной радиоактивности. Для таких материалов стоят задачи повышения длительной высокотемпературной прочности и снижения тенденции к низкотемпературному охрупчиванию. Целенаправленные изменения микроструктуры и механических свойств сталей достигаются с помощью термических и термомеханических обработок.

Изучено влияние режимов обработки на параметры микроструктуры российских 12 %-хромистых ферритно-мартенситных сталей ЭК-181 (Fe-12Cr-1,1W-0,25V-0,08Ta-0,006B-0,15C-0,04N) и ЭП-823 (Fe-12Cr-0,74Mo-0,68W-1,09Si-0,34V-0,40Nb). Стали исследовали после традиционной термической (ТТО) и высокотемпературной термомеханической (ВТМО) обработок. ТТО включает в себя нормализацию при $T = 1100$ °С (1 ч.) и отпуск при $T = 720$ °С (3 ч.). ВТМО состояла из нагрева до 1100 °С с выдержкой 1 ч., горячей пластической деформации прокаткой до величины $\epsilon \approx 50$ % за один проход (прокатный стан находился при комнатной температуре; температура образца на выходе из стана была не ниже 650 °С) с последующей закалкой в воду и отпуска при $T = 720$ °С в течение 1 ч. Перспективность ВТМО для повышения эффективности дисперсного и субструктурного упрочнения ферритно-мартенситных сталей ранее показана в [1,2].

Рентгеноструктурный анализ (РСА) проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-7. Результаты анализа представлены в таблице 1. Обработка рентгеновских дифрактограмм осуществлялась методом полнопрофильного анализа (метод Ритвельда).

Таблица 1. Параметры микроструктуры и фазовый состав ферритно-мартенситных сталей по результатам РСА

Сталь	ЭК-181			ЭП-823	
	закалка	ТТО	ВТМО	ТТО	ВТМО
Параметр решетки, нм	0.2883 ± 0.0004	0.2878 ± 0.0004	0.2880 ± 0.0006	0.2872 ± 0.0001	0.2873 ± 0.0001
Плотность дислокаций, м ⁻²	$3.4 \cdot 10^{15}$	$7.8 \cdot 10^{14}$	$9.4 \cdot 10^{14}$	$7.4 \cdot 10^{14}$	$8.4 \cdot 10^{14}$

Согласно данным РСА, после ТТО и ВТМО в сталях ЭК-181 и ЭП-823 объемное содержание ОЦК фазы (феррит + мартенсит) составляет 100 % после всех изученных обработок. Методами просвечивающей электронной микроскопии [1,2] в сталях обнаруживаются также карбидные фазы, однако их содержание ниже чувствительности рентгеновского метода.

Наибольшее значение параметра решетки и плотности дислокаций наблюдаются после закалки (табл. 1). Это обусловлено нахождением значительного количества легирующих элементов в твердом растворе и формированием «дислокаций превращения». После ТТО параметр решетки и плотность дислокаций уменьшаются (относительно состояния после закалки). В процессе отпуска в сталях выделяются дисперсные карбидные частицы [1,2]. Плотности дислокаций после ТТО в сталях различаются незначительно (табл. 1).

После ВТМО параметр решетки и плотность дислокаций для обеих сталей выше, чем после ТТО. Повышенная плотность дислокаций обусловлена их формированием в процессе

горячей деформации и условиями отпуска сталей. Наибольшее различие в плотности дислокаций ВТМО/ТТО наблюдается в стали ЭК-181. В стали ЭП-823 плотность дислокаций после ВТМО ниже (табл. 1), по сравнению с таковой для стали ЭК-181. Показано [1,2], что в стали ЭП-823 плотность наноразмерных частиц значительно меньше, чем в стали ЭК-181. Эти данные коррелируют с более высокими значениями предела текучести стали ЭК-181 после ВТМО по сравнению с пределом текучести стали ЭП-823 [1,2]. Методами просвечивающей электронной микроскопии и в процессе механических испытаний на растяжение показано [1,2], что высокие прочностные свойства стали ЭК-181 после ВТМО обусловлены высокой эффективностью дисперсного (наноразмерными частицами V(C, N) и субструктурного упрочнения).

Полученные результаты подтверждают выявленные ранее закономерности формирования микроструктуры ферритно-мартенситных сталей в условиях ТТО и ВТМО.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0008.

1. Полехина Н.А., Литовченко И.Ю., Тюменцев А.Н., Кравченко Д.А., Чернов В.М., Леонтьева-Смирнова М.В. Влияние высокотемпературной термомеханической обработки в аустенитной области на микроструктуру и механические свойства малоактивируемой 12%-ной хромистой ферритно-мартенситной стали ЭК-181 // Журнал технической физики. – 2017. – Т. 87. – Вып. 5. – С. 716-721.
2. Алмаева К.В., Литовченко И.Ю., Полехина Н.А. Влияние высокотемпературной термомеханической обработки на микроструктуру, механические свойства и особенности разрушения ферритно-мартенситной стали ЭП-823 // Известия вузов. Физика. – 2019. – Т. 63. – № 5. – С. 85-89.