

## ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ ЭК-181 И ЧС-139 ПОСЛЕ ТРАДИЦИОННОГО РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Полехина Н.А.<sup>1,2</sup>, Литовченко И.Ю.<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: Тюменцев А.Н.<sup>1,2</sup>, д.ф.-м.н., профессор

<sup>1</sup> Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
634021, Россия, Томск, пр. Академический, 2/4

<sup>2</sup> Томский Государственный Университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36  
E-mail: nadejda89tsk@yandex.ru

В настоящей работе проведены сравнительные исследования особенностей микроструктуры и механических свойств высокохромистых ферритно-мартенситных сталей ЭК-181 (16X12B2ФТаР) и ЧС-139 (20X12НМВБФАР) после традиционной термической обработки (ТТО). Для сталей такого класса ТТО включает в себя закалку от 1100°C и последующий высокотемпературный отпуск при  $T=720^{\circ}\text{C}$ , 3 ч.

Установлено [1], что важной особенностью гетерофазной структуры стали ЭК-181 после традиционной термической обработки, является высокая плотность наночастиц ГЦК карбонитрида ванадия  $\text{V}(\text{CN})$  размерами не более 8 нм (рис. 1а). Карбиды  $\text{M}_{23}\text{C}_6$  после такой обработки представляют собой неравноосные частицы размерами до 110 нм (рис. 1б). Другой важной отличительной особенностью образцов стали ЭК-181, прошедших обработку по традиционному режиму, является формирование внутри фрагментов мартенсита субструктуры с непрерывными разориентировками. Электронно-микроскопическое исследование формирующихся в такой структуре внутренних напряжений показало, что в локальных зонах повышенной кривизны эти напряжения сравнимы с величиной предела текучести сплава при комнатной температуре.

Как показало электронно-микроскопическое исследование, структурно-фазовое состояние стали ЧС-139 после традиционной термической обработки качественно подобно состоянию стали ЭК-181. Наблюдается структура «феррит + пакетный мартенсит + карбиды». Размеры структурных элементов сталей близки. Средняя ширина мартенситных пластин стали ЧС-139 (рис. 2а), рассчитанная по темнопольным электронно-микроскопическим изображениям, составляет  $\approx 0,5$  мкм, размер зерен феррита может достигать нескольких мкм.

Отличие этих сталей, главным образом, наблюдается в их карбидной подсистеме. Ввиду более высокого содержания углерода и сильных карбидообразующих элементов (Mo, Nb, V, W) размеры, плотность и объемная доля грубодисперсных карбидов  $\text{M}_{23}\text{C}_6$  в стали ЧС-139 превышают таковые для стали ЭК-181. Карбиды  $\text{M}_{23}\text{C}_6$  в стали ЧС-139 после ТТО представляют

собой относительно крупные частицы размерами от 150 до 250 нм (рис. 2б), что примерно в 1,5-2 раза больше, по сравнению со сталью ЭК-181. Преимущественными местами расположения неравноосных частиц  $\text{M}_{23}\text{C}_6$  являются границы мартенситных пластин и рек. Равноосные частицы, как правило, обнаруживаются внутри кристаллов мартенсита. Локально встречаются крупные округлые частицы размерами  $\approx 400$  нм.

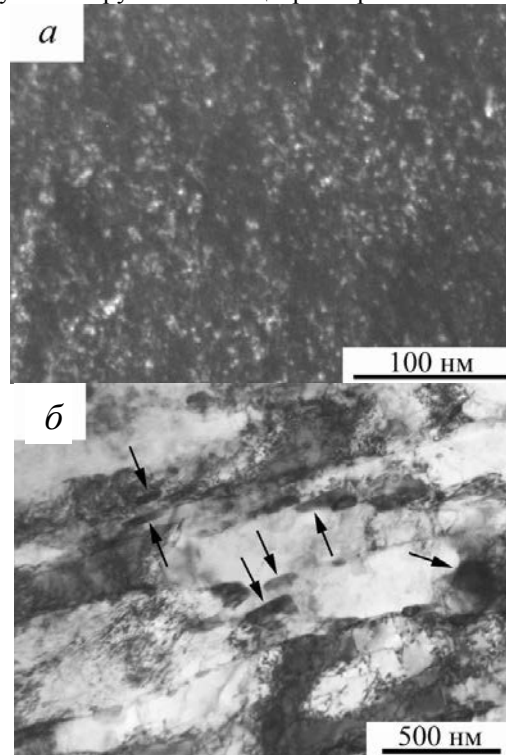


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения стали ЭК-181 после ТТО: а – наночастицы  $\text{V}(\text{CN})$ ; б – светопольное изображение, стрелками указаны карбиды  $\text{M}_{23}\text{C}_6$

Проведенные ранее исследования [2] показали, что существенное влияние на структурно-фазовое состояние стали ЭК-181 оказывает вариация закалочной среды (вода/воздух), изменяющая скорость закалки. Увеличение скорости закалки приводит, во-первых, к снижению плотности карбидов  $\text{M}_{23}\text{C}_6$ ; во-вторых, к повышению дисперсности и объемной доли наночастиц карбонитрида ванадия. Последующий отпуск при  $720^{\circ}\text{C}$ , 3 ч. (традиционная термообработка)

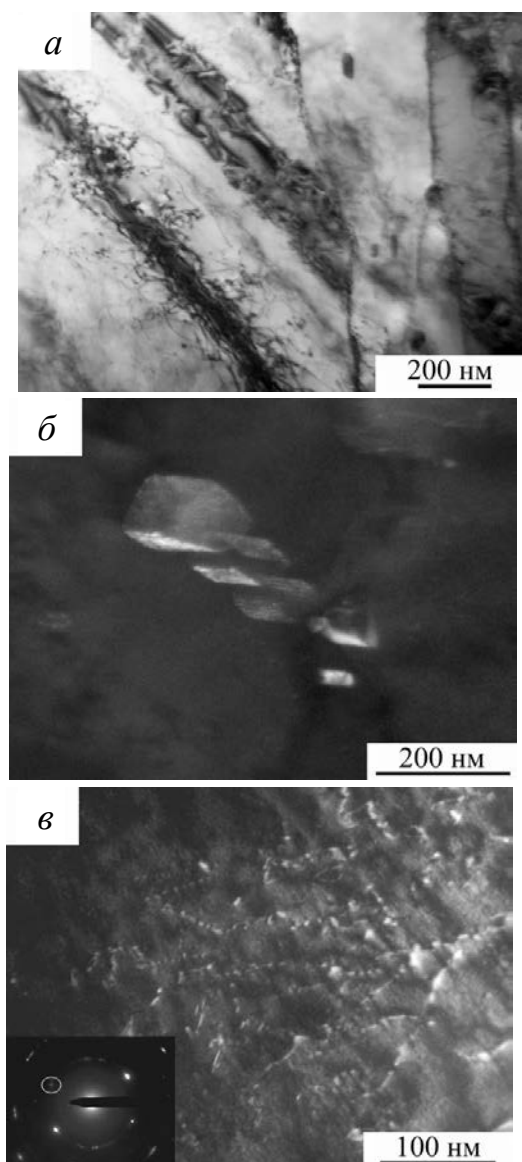


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения стали ЧС-139 после ТТО: *а* – светлопольное изображение; *б* – карбиды  $M_{23}C_6$ ; *в* – наночастицы  $V(CN)$

приводит к существенному увеличению объемной доли как грубодисперсной фазы  $M_{23}C_6$ , так и наноразмерных частиц  $V(CN)$ .

Результаты исследования характеристик кратковременной прочности и пластичности сталей после ТТО с закалкой на воздух и в воду представлены в таблице. Отметим, что каких либо преимуществ стали ЧС-139 в отношении кратковременных механических свойств, по сравнению с ЭК-181, не обнаружено.

Как видно из этой таблицы, при повышении скорости закалки (воздух/вода) наблюдается незначительный эффект повышения прочности (около 5 %) стали ЭК-181 при  $T=650^\circ\text{C}$ , который, по-видимому, обусловлен обнаруживаемым при этом увеличением объемной доли наночастиц  $V(C,N)$ . На наш взгляд, природа влияния скорости

закалки на характер гетерофазной структуры и прочностные свойства исследуемых сталей связана с изменением (при изменении скорости закалки) кинетических условий образования частиц стабильных ( $M_{23}C_6$  и  $V(C,N)$ ) карбидных фаз.

В случае стали ЧС-139 увеличение скорости закалки не приводит к повышению высокотемпературной прочности (табл.). Возможными причинами различного влияния скорости закалки на механические свойства сталей ЧС-139 и ЭК-181 являются различия в их гетерофазной структуре после ТТО. Эффективность дисперсного упрочнения в стали ЧС-139 может быть ниже вследствие того, что значительная часть углерода в процессе отпуска связывается в грубодисперсные частицы  $M_{23}C_6$ . При этом плотность мелкодисперсных карбидов в указанной стали снижается. Выяснение более глубоких физических причин указанных выше различий требуют дополнительных исследований.

Таблица. Механические свойства сталей ЭК-181 и ЧС-139 после ТТО

Режим обработки	Температура испытаний			
	$T = 20^\circ\text{C}$		$T = 650^\circ\text{C}$	
	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\delta$ , %
ЭК-181				
ТТО (воздух)	827	8	390	8
ТТО (вода)	830	10	410	9
ЧС-139				
ТТО (воздух)	790	10	370	14
ТТО (вода)	770	11	360	11

Таким образом, структурно-фазовое состояние стали ЧС-139 после традиционной термической обработки качественно подобно состоянию стали ЭК-181. Основной особенностью микроструктуры сталей после такой обработки является высокая плотность наноразмерных частиц карбонитрида ванадия  $V(CN)$ . Предполагается, что их образование является важным фактором повышения высокотемпературной прочности и термической стабильности микроструктуры сталей.

#### Литература

1 Особенности микроструктуры феррито-мартенситной (12 % Cr) стали ЭК-181 после термообработок по разным режимам / Тюменцев А.Н. [и др.] // Журнал технической физики – 2012. – №12-2. – с. 52–58.

2 Влияние режимов термообработки на микроструктуру малоактивируемой ферритно-мартенситной стали ЭК-181 / Шевяко Н.А., Литовченко И.Ю. [и др.] // Известия ВУЗов. Физика. – 2013. – Т. 56. №5. – С.51-54.