

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
X Международной конференция студентов и молодых ученых

РОССИЯ, ТОМСК, 23–26 апреля 2013 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

X INTERNATIONAL CONFERENCE OF STUDENTS AND YOUNG SCIENTISTS

RUSSIA, TOMSK, April 23–26, 2013

Томск 2013

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ
СОСТОЯНИЕ МАЛОАКТИВИРУЕМОЙ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЭК-181**

Н.А. Шевяко¹, И.Ю. Литовченко^{1,2}

Научный руководитель: профессор, д.ф-м.н. А.Н. Тюменцев^{1,2}

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г.Томск, пр. Академический, 2/4, 634021

² Томский Государственный Университет, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: nadejda89tsk@yandex.ru

**EFFECT OF THERMOMECHANICAL TREATMENT ON STRUCTURAL AND PHASE STATE
OF LOW-ACTIVATION FERRITIC-MARTENSITIC STEEL EK-181**

N.A. Shevyako¹, I.Yu. Litovchenko^{1,2}

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.N. Tyumentsev^{1,2}

¹ Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Academichesky str., 2/4, 634021

² Tomsk State University, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: nadejda89tsk@yandex.ru

Effect of the thermomechanical treatment on microstructure and phase composition of low-activation ferritic-martensitic steel RUSFER EK-181 (Fe-12Cr-2W-V-Ta-B) has been studied. The main results of this treatment are low-angle boundaries scattering, depletion of the solid solution by carbon through the precipitation of a large number of carbides. As a result the transformation of the martensitic structure to the ferrite-carbide mixture with grain size of a few microns is observed.

Основными претендентами на использование в качестве материалов для активных зон и внутрикорпусных устройств ядерных реакторов нового поколения являются стали ферритно-мартенситного класса. Потенциальные резервы жаропрочности российской малоактивируемой ферритно-мартенситной стали ЭК-181 (RUSFER-ЭК-181) связаны с возможностью управления ее гетерофазной структурой с помощью подбора оптимальных термических и термомеханических обработок (ТО и ТМО) [1].

Электронно-микроскопические исследования образцов стали ЭК-181 после режимов термомеханической обработки, представленных в таблице 1, проведены на просвечивающих электронных микроскопах Philips CM30 (300 кВ) и Philips CM12 (120 кВ). Прокатка образцов осуществлялась при комнатной температуре. Обжатие за один проход не превышало 5%.

Важной особенностью гетерофазной структуры исследуемой стали после традиционной термической обработки (ТТО, закалка от температуры $T = 1100^{\circ}\text{C}$ на воздух + отпуск при $T = 720^{\circ}\text{C}$) является высокая плотность наночастиц кубического карбонитрида ванадия $V(C, N)$ размерами менее 10 нм. Карбиды $M_{23}C_6$ после такой обработки представляют собой неравноосные частицы размерами до 110 нм, располагающиеся как по границам мартенситных кристаллов, так и внутри зерен матрицы. Кроме того наблюдается значительная объемная доля отпущенного мартенсита с преимущественной шириной пакетов до 200 нм. [1].

Основные задачи термомеханических обработок указанной стали заключаются в измельчении мартенситной структуры, увеличении плотности дислокаций и закреплении их на наноразмерных

стабильных частицах V(C, N) [1], что должно обеспечить сохранение полученной микроструктуры в течение длительного времени эксплуатации при высоких температурах.

Таблица 1.

Режимы термомеханических обработок стали ЭК-181

ТМО-I	1100°C, 1 ч (воздух)	500°C, 1 ч		прокатка, $\epsilon = 60\%$			
ТМО-II	1100°C, 1 ч (воздух)	500°C, 1 ч		прокатка, $\epsilon = 60\%$			720°C, 3 ч
ТМО-III	1100°C, 1 ч (воздух)	300°C, 1 ч	прокатка, $\epsilon = 30\%$	300°C, 1 ч	прокатка, $\epsilon = 30\%$		720°C, 3 ч
ТМО-IV	1100°C, 1 ч (воздух)	300°C, 1 ч	прокатка, $\epsilon = 30\%$	300°C, 1 ч	прокатка, $\epsilon = 30\%$	300°C, 1 ч	720°C, 3 ч

Прокатка малоактивируемой стали ЭК-181 в состояниях после закалки от $T = 1100^\circ\text{C}$ и закалки + отжига при $T = 200^\circ\text{C}$ (1 ч) привела к растрескиванию образцов. Возможность прокатки на $\epsilon = 30\%$ появилась только после закалки + отжига при $T = 300^\circ\text{C}$ (1 ч).

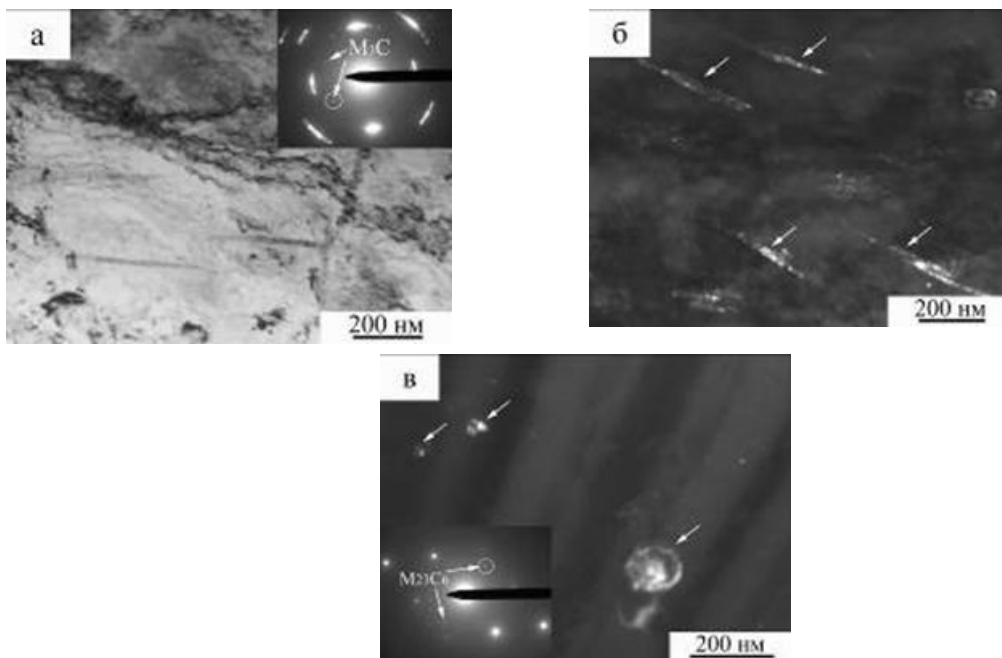


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения стали ЭК-181 после ТМО-I (стрелками указаны частицы цементитного типа, а, б) и ТМО-II (стрелками указаны частицы $M_{23}C_6$, в)

Термомеханическая обработка по режимам ТМО-I и ТМО-II привела к интенсивному отпуску мартенсита, а не его измельчению, как предполагалось. После таких ТМО наблюдается крупнозернистая ферритная структура размерами зерен ~ нескольких мкм, большая плотность карбидов цементитного типа M_3C (ТМО-I, рисунок 1 а, б) и коагулировавших карбидов $M_{23}C_6$ (ТМО-I, рисунок 1 в). Размеры и объемная доля таких частиц значительно увеличились по сравнению с состоянием после ТТО. Предполагалось, что совокупность отжига при $T = 500^\circ\text{C}$ и прокатки приведет к интенсивному выделению наночастиц карбонитрида ванадия, однако этого не произошло, так как большая часть углерода оказалась связанной в крупных (до 400 нм) равноосных карбидах $M_{23}C_6$. Таким образом, термомеханическая обработка по режимам ТМО-I и ТМО-II приводит к негативным изменениям гетерофазной структуры исследуемой стали.

Для снижения эффекта отпуска мартенсита предложены термомеханические обработки по режимам

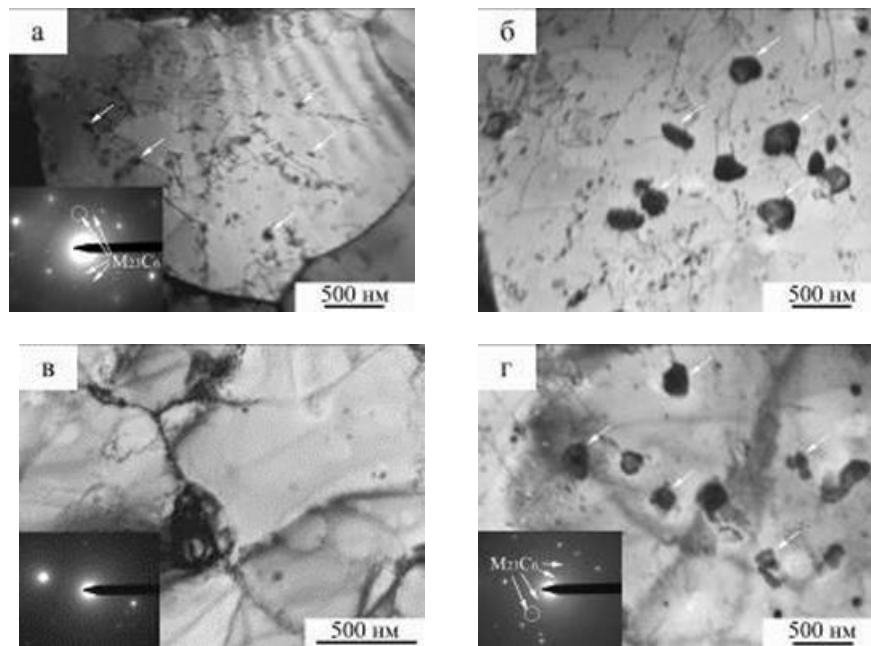


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения стали ЭК-181 после ТМО-III (а, б) и ТМО-IV (в, г) (стрелками указаны частицы $M_{23}C_6$)

ТМО-III и ТМО-IV, включающие отжиги при температурах ниже, чем при ТМО-I и ТМО-II, но большее количество циклов обработки. Микроструктура стали ЭК-181 после ТМО-III, ТМО-IV (рисунок 2) мало отличается от состояний после ТМО-I и ТМО-II – наблюдается отпущенная структура «крупнозернистый феррит + грубодисперсные карбиды $M_{23}C_6$ ».

На основании вышесказанного можно заключить, что основным эффектом предложенных термомеханических обработок является рассыпание малоугловых границ, обеднение твердого раствора углеродом путем выделения большого количества частиц карбидной фазы и, как следствие, трансформация мартенситной структуры в ферритно-карбидную смесь с размерами зерен матрицы ~ нескольких мкм. Предполагается, что это связано со значительным увеличением коэффициентов диффузии благодаря совместному действию деформации и отжига.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашения №14.132.21.1597, № 8762 и гранта РФФИ № 12-03-00488-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюменцев А.Н., Чернов В.М., Леонтьева-Смирнова М.В. и др. Особенности микроструктуры ферритно-мартенситной (12 %Cr) стали ЭК-181 после термообработок по разным режимам // Журнал технической физики. – 2012. – т. 82. – Вып. 1. – С. 52-58.