



УДК 669.15-194.55:621.785.7

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ПРОЧНОСТЬ СТАЛИ 10Х9В1М1ФБР

А.Ю. Кипелова
М.В. Однобокова
И.В. Дудзич

*Белгородский
государственный
университет*

*Россия, 308015 г. Белгород,
ул. Победы 85*

E-mail: kipelova@bsu.edu.ru

Изучено влияние термических обработок на статические механические свойства стали 10Х9В1М1ФБР.

Ключевые слова: стали мартенситного класса, отпуск, микроструктура, механические свойства.

Введение

В последние десятилетия высокохромистые жаропрочные стали мартенситного класса рассматриваются как перспективные материалы для компонентов энергоблоков электростанций нового поколения, работающих на угле [1, 2]. В настоящее время за рубежом разработан целый ряд жаропрочных сталей мартенситного класса, работающих при температурах пара $\leq 620^\circ\text{C}$. Их режим термической обработки представляет собой нормализацию с последующим отпуском. Параметры структуры, формирующиеся в сталях мартенситного класса при отпуске, определяют весь комплекс механических свойств теплотехнических сталей. Соответственно, детальное исследование процессов, происходящих при отпуске в сталях мартенситного класса, позволят разработать оптимальные режимы термообработки, дадут необходимую информацию для управления структурой и механическими свойствами. Таким образом, все это позволит существенно повысить эксплуатационные свойства жаропрочных сталей мартенситного класса.

Цель настоящей работы – определение зависимости механических свойств стали 10Х9В1М1ФБР от температуры отпуска.

Методика проведения исследований

Исследовали жаропрочную сталь 10Х9В1М1ФБР следующего химического состава, % (масс.): 0.13 С, 9.5 Cr, 0.95 W, 1.04 Mo, 0.2 V, 0.06 Nb, 0.05 N, 0.005 В, 0.03 Mn, 0.01 Ni, 0.12 Si, 0.01 P, 0.01 S, остальное – Fe. Образцы подвергали нормализации от 1060°C и отпуску в интервале температур $200\text{--}800^\circ\text{C}$ в течение 3 ч. Определяли влияние температуры на характеристики статической прочности и пластичности. Для этого образец после отпуска при заданной температуре в обычной печи охлаждали, затем заново нагревали до этой же температуры в печи универсальной испытательной машины «Instron 5882» и испытывали на растяжение со скоростью деформации $1 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Использовали плоские образцы с рабочей частью длиной 25 мм и поперечным сечением 7×3 мм.

Определяли влияние температуры отпуска на твердость при комнатной температуре. Твердость по Бринеллю измеряли с помощью цифрового твердомера фирмы Wolpert 3000BLD при нагрузке 29400 Н с применением шарика из твердого сплава диаметром 10 мм. Анализ тонкой структуры осуществляли с использованием просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) Jeol «JEM-2100» с ускоряющим напряжением 200 кВ. Определение характеристик структуры мартенсита выполняли с использованием сканирующего электронного микроскопа FEI «Quanta 600F», оснащенного анализатором дифракции обратнорассеянных электронов. По данным дифрак-

ции обратнорассеянных электронов, строили карты разориентировок с учетом угловых разориентировок выше 2° .

Результаты исследований и их обсуждение

Исходная микроструктура. Микроструктура, сформировавшаяся в стали 10X9V1M1ФБР после нормализации от 1060°C , показана на рис. 1. По данным дифракции обратнорассеянных электронов, 55% разориентировок границ являются высокоугловыми (рис. 1, а), при этом 20% границ имеют кристаллографические параметры, которые в соответствии с критерием Брэндона позволяют отнести их к специальным границам. Средний угол разориентировки границ составил 32° . Нужно сказать, что представленные данные по доле высокоугловых границ несколько завышены, поскольку при построении карт разориентировок не учитывали малоугловые границы с разориентировкой менее 2° .

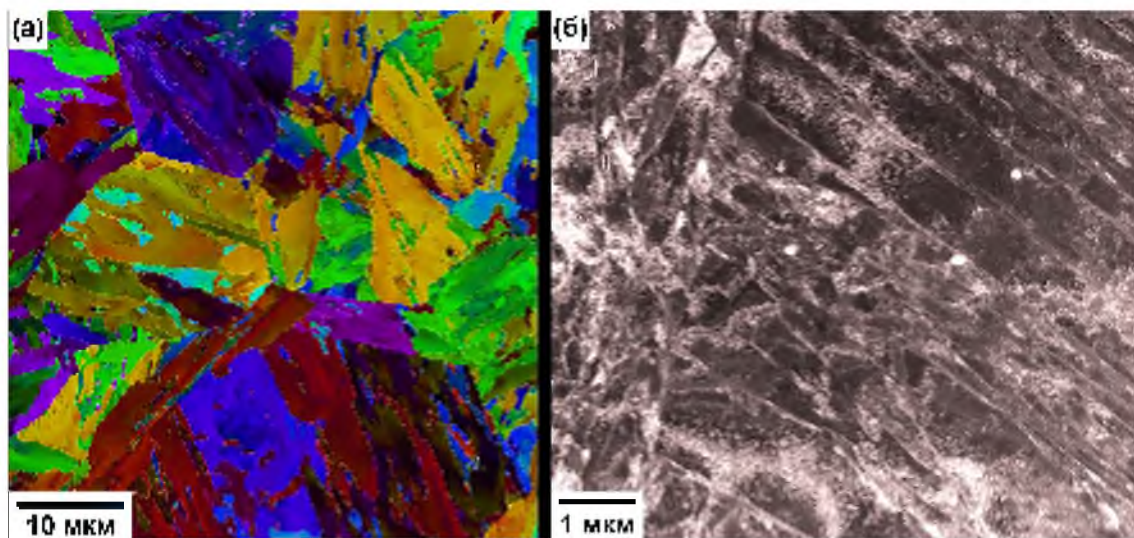


Рис. 1. Карта разориентировок (а) и микроструктура (ПЭМ) (б) стали 10X9V1M1ФБР после нормализации от 1060°C . Границы с разориентировкой менее и более 15° показаны соответственно белым и черным цветом

Тонкая структура стали 10X9V1M1ФБР представлена на рис. 1 б. Поперечный размер реек пакетного мартенсита составляет около 200 нм. Внутри реек мартенсита наблюдается высокая плотность дислокаций – $9 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$. После закалки наблюдаются пластины карбида типа Me_3C , выделившегося в процессе самоотпуска. Также электронно-микроскопическое исследование выявило как первичные, так и вторичные карбонитриды круглой формы типа $\text{Nb}(\text{C},\text{N})$. Вторичные карбонитриды типа $\text{Nb}(\text{C},\text{N})$ располагаются равномерно по объему стали.

Механические свойства. Влияние температуры отпуска на твердость показано на рис. 2 а. Видно, что повышение температуры отпуска приводит к увеличению твердости, которая достигает своего максимума при 500°C . Твердость образца после отпуска при этой температуре на 5% выше, чем после нормализации, т.е. сталь 10X9V1M1ФБР ведет себя как классическая дисперсионно-упрочняемая сталь – проявляет как первичную, так и вторичную твердость. Дальнейшее повышение температуры приводит к непрерывному уменьшению твердости. После отпуска при 760°C она уменьшается почти в 2 раза по сравнению с максимумом при 500°C . Твердость снижается до 218 *HBW*, что является максимальной величиной, при которой теплотехническая сталь обладает удовлетворительной свариваемостью и может эксплуатироваться [3]. Следовательно, температура отпуска 760°C при выдержке 3 ч обеспечивает оптимальное сочетание сопротивления ползучести и твердости для стали 10X9V1M1ФБР.



Рис. 2. Зависимость твердости HRW (а) от температуры отпуска и зависимость механических характеристик ($\sigma_{в}$, $\sigma_{0,2}$) от температуры отпуска и испытаний (б)

Температурная зависимость предела текучести $\sigma_{0,2}$ и временного сопротивления разрыву $\sigma_{в}$ представлена на рис. 2 б. В интервале температур испытания $200\text{--}400^{\circ}\text{C}$ в стали 10Х9В1М1ФБР наблюдается позитивная температурная зависимость условного предела текучести: повышение температуры деформации способствует повышению напряжений течения. Это редкий для металлических материалов феномен [4, 5]. Причем при 400°C величина $\sigma_{0,2} = 960\text{МПа}$, что достаточно много для стали, содержащей всего 0,13 % С. При дальнейшем повышении температуры испытаний от 525 до 800°C начинается резкое снижение характеристик прочности (рис. 2 б). Следует отметить, что почти при всех температурах испытаний $t_{исп} < 575^{\circ}\text{C}$ отношение $\sigma_{в}/\sigma_{0,2} > 1,3$, а при $t_{исп} \geq 575^{\circ}\text{C}$ оно становится близко к 1. Следовательно, повышение температуры испытаний в интервале $575\text{--}800^{\circ}\text{C}$ уменьшает величину деформационного упрочнения.

Выводы

Нормализация от 1060°C приводит к образованию пакетного мартенсита с поперечным размером реек 200 нм и плотностью дислокаций $9 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$.

Температура отпуска 760°C при выдержке 3 часа обеспечивает оптимальное сочетание сопротивления ползучести и твердости для стали 10Х9В1М1ФБР.

Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием Белгородского государственного университета в рамках выполнения государственного контракта № П846.

Список литературы

1. Vaillant J.C., Vandenberghe B., Hahn B., Heuser H., Jochum C. T/P23, 24, 911 and 92: New grades for advanced coal-fired power plants-properties and experience // Inter. J. Press. Vess. Pip. – 2008. – Vol. 85. – P. 38-46.
2. Ennis P.J., Czyrska-Filemonowicz A. Recent Advances in Creep Resistant Steels for Power Plant Applications // Operation Maintenance Mater. Issue. – 2002. – Vol. 1, № 1. – P. 1-28.
3. Haarmann K., Vaillant J.C., Vandenberghe B. Bendick W., Arbab A. Vallourec & Mannesmann Tubes. The T91/P91 book. – 2002. – P. 62.
4. Couret A., Caillard D. Prismatic slip in beryllium. I. The controlling mechanism at the peak temperature // Phil. Mag. A. – 1989. – Vol. 59, № 4. – P. 783–800.
5. Кипелова А.Ю., Беляков А.Н., Скоробогатых В.Н., Щенкова И.А., Кайбышев Р.О. Структурные изменения при отпуске в стали 10Х9К3В1М1ФБР и их влияние на механические свойства // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2010. – Т. 657, № 3. – С. 14-25.



EFFECT OF TEMPERING TEMPERATURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF 10Kh9V1M1FBR STEEL

A.Y. Kipelova

M.V. Odnobokova

I.V. Dudzich

Belgorod State University

Pobedy St., 85, Belgorod,

308015, Russia

E-mail: kipelova@bsu.edu.ru

It is studied the effect of heat treatments on static mechanical properties of 10Kh9V1M1FBR steel.

Key words: martensitic steels, tempering, microstructure, mechanical properties.