

УДК 669.15-194.55:621.785.7

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 10X9B1M1ФБР****А.Ю. Кипелова, М.В. Однобокова, И.В. Дудзич**Белгородский государственный университет
ул.Победы, 85, г.Белгород, 308015, Россия, e-mail: kipelova@bsu.edu.ru

Изучено влияние термической обработки на статические механические свойства стали 10X9B1M1ФБР.

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

1. 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, результаты детальных исследований процессов, происходящих при отпуске в сталях мартенситного класса, позволят разработать оптимальные режимы термообработки, так как дадут необходимую информацию для управления их структурой и механическими свойствами. В свою очередь, это позволит существенно повысить эксплуатационные свойства жаропрочных сталей мартенситного класса.

Целью настоящей работы является определение зависимости механических свойств стали 10X9B1M1ФБР от температуры отпуска.

2. Методика проведения исследований

Была исследована жаропрочная сталь 10X9B1M1ФБР следующего химического состава (% массы): 0,13C, 9,5Cr, 0,95W, 1,04Mo, 0,2V, 0,06Nb, 0,05N, 0,005B, 0,03Mn, 0,01Ni, 0,12Si, 0,01P, 0,01S, вся остальная доля массы – Fe. Образцы подвергали нормализации от 1060°C и отпуску в интервале температур 200 – 800°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 его заново нагревали до этой же температуры в печи универсальной испытательной машины "Instron 5882" и испытывали на растяжение со скоростью деформации $1 \cdot 10^{-3} \text{c}^{-1}$.

Использовались плоские образцы с рабочей частью длиной 25 мм и поперечным сечением $7 \cdot 3$ мм.

Для экспериментируемых образцов определялось влияние температуры отпуска на их твёрдость при комнатной температуре. Твёрдость по Бринеллю измерялась с помощью цифрового твёрдомера фирмы Wolpert 3000BLD при нагрузке 29400 Н с применением шарика диаметром 10 мм из твёрдого сплава. Анализ тонкой структуры образцов осуществлялся 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", оснащённого анализатором дифракции обратно рассеянных электронов. По данным дифракции обратно рассеянных электронов, строили карты разориентировок с учётом угловых разориентировок выше 2° .

3. Исходная микроструктура

Микроструктура, сформировавшаяся в стали 10X9B1M1ФБР после нормализации от 1060°C , показана на рис. 1. По данным дифракции обратно рассеянных электронов, 55% разориентировки границ являются высокоугловыми (рис. 1а), 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 отметить, что представленные данные по доле высокоугловых границ несколько завышены, поскольку при построении карт разориентировок не учитывали малоугловые границы с разориентировкой менее 2° .

Тонкая структура стали 10X9B1M1ФБР представлена на рис. 1б. 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. Кроме того, 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 объёму стали.

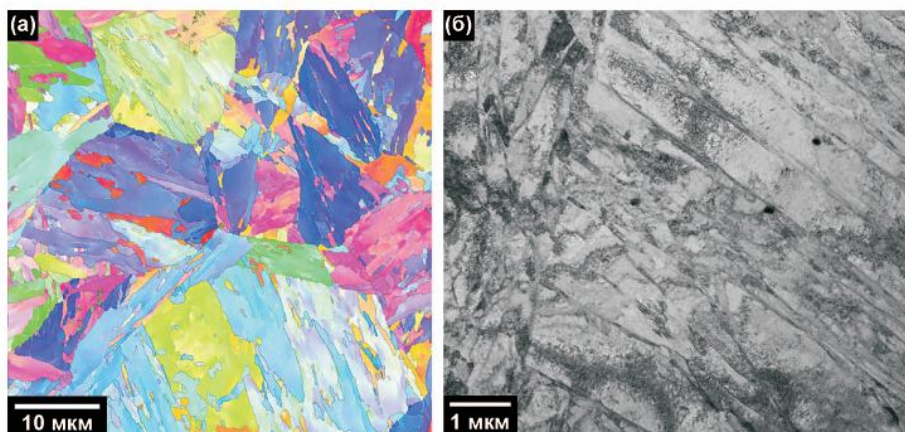


Рис. 1. Карта разориентировок (а) и микроструктура (ПЭМ) (б) стали 10X9B1M1ФБР после нормализации от 1060°C . Границы с разориентировкой менее и более 15° показаны соответственно белым и черным цветом.

4. Механические свойства

Влияние температуры отпуска на твёрдость показано на рис. 2а. Видно, что повышение температуры отпуска приводит к увеличению твёрдости, которая достигает своего максимума при 500°C . Твёрдость образца после отпуска при этой температуре на 5% выше, чем

после нормализации, т.е. сталь 10X9B1M1ФБР ведёт себя как классическая дисперсионно-упрочняемая сталь – проявляет как первичную, так и вторичную твёрдость. Дальнейшее повышение температуры приводит к непрерывному уменьшению твёрдости. После отпуска при 760°C она уменьшается почти в 2 раза по сравнению с максимумом при 500°C. Твёрдость 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 значение твёрдости для стали 10X9B1M1ФБР.

Температурная зависимость предела текучести $\sigma_{0,2}$ и временного сопротивления разрыву σ_B представлена на рис. 2б. В интервале температур испытания 200 - 400°C в стали 10X9B1M1ФБР наблюдается позитивная температурная зависимость условного предела текучести: повышение температуры деформации способствует повышению напряжений течения. Это достаточно редкий для металлических материалов феномен [4, 5]. Причём, при 400°C величина $\sigma_{0,2} = 960$ МПа, что достаточно много для стали, содержащей всего 0,13% С.

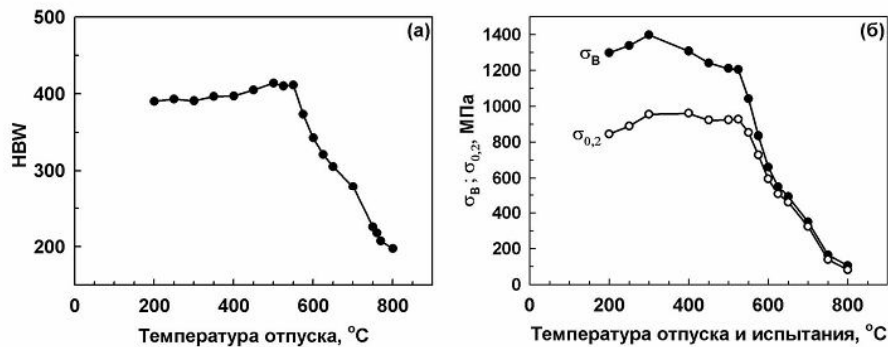


Рис. 2. Зависимость твёрдости HBW (а) от температуры отпуска и зависимость механических характеристик (σ_B , $\sigma_{0,2}$) от температуры отпуска и испытаний (б).

При дальнейшем повышении температуры испытаний от 525 до 800°C начинается резкое снижение характеристик прочности (рис. 2б). Следует отметить, что почти при всех температурах испытаний $t < 575^\circ\text{C}$ отношение $\sigma_B/\sigma_{0,2} > 1,3$, а при $t \geq 575^\circ\text{C}$ оно становится близко к 1. Следовательно, повышение температуры испытаний в интервале 575-800°C уменьшает величину деформационного упрочнения.

5. Выводы

1. Нормализация от 1060°C приводит к образованию пакетного мартенсита с поперечным размером реек 200 нм и плотностью дислокаций $9 \cdot 10^{14} \text{м}^{-2}$.
2. Температура отпуска 760°C при выдержке 3 ч обеспечивает оптимальное значение твёрдости для стали 10X9B1M1ФБР.

Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием Белгородского государственного университета при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию, в рамках государственного контракта № П846.

Литература

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. – 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. – 1;1. – P.1-28.
3. Naarmann 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. – 59;4. – P.783-800.
5. Кипелова А.Ю., Беляков А.Н., Скоробогатых В.Н., Шенкова И.А., Кайбышев Р.О. Структурные изменения при отпуске в стали 10X9K3B1M1ФБР и их влияние на механические свойства // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2010. – 657;3. – С.14-25.

INFLUENCE OF TEMPERING TEMPERATURE ON 10Kh9V1M1FBR STEEL MECHANICAL PROPERTIES

A.Yu. Kipelova, M.V. Odnobokova, I.V. Dudzich

Belgorod State University
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia, e-mail: kipelova@bsu.edu.ru

The result of heat treatment on static mechanical properties of 10Kh9V1M1FBR steel was studied.
Key words: martensitic steels, tempering, microstructure, mechanical properties.