

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ МАРТЕНСИТНОГО КЛАССА

Федосеева А.Э.

Доктор физ.-мат. наук Кайбышев Р.О.

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет», г. Белгород
alexandra_plot@mail.ru

В настоящее время мартенситные стали, содержащие 9-12% Cr, рассматриваются как перспективные жаропрочные материалы для изготовления элементов котлов и паропроводов для тепловых угольных электростанций.

Установлено, что особенности структуры и механических свойств жаропрочных сплавов зависят, главным образом, от температурно-временных режимов закалки и отпуска [1]. Однако для экспериментальной стали 10X9K3B2MФБР особенности взаимосвязи между режимами отпуска, строением сплава и механическими свойствами не определены.

В связи с этим в настоящей работе было изучено влияние температуры отпуска на фазовые превращения и механические свойства стали 10X9K3B2MФБР.

Для исследования образцы из стали 10X9K3B2MФБР были подвергнуты термической обработке, состоящей из закалки с охлаждением на воздухе с температуры 1050°C и отпуска в интервале температур 300-800°C в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе. Проводилось исследование влияния температуры отпуска на механические свойства (твердость по Бринеллю и ударную вязкость), на фазовый состав и параметры микроструктуры стали. Микроструктурные исследования стали проводились с помощью просвечивающей электронной микроскопии тонких фольг и углеродных реплик. Анализ фазового состава сталей и идентификация частиц вторых фаз проводились методами энергодисперсионного анализа химического состава и идентификации кристаллической решетки.

Исследование тонких фольг показало, что структура стали после закалки ($T=1050^{\circ}\text{C}$) представляет собой реечный мартенсит с прослойками остаточного аустенита, расположенных по большеугловым границам и по границам мартенситных реек. Идентификация частиц вторых фаз методом ПЭМ реплик показала, что после закалки в стали выделяются крупные первичные карбиды NbC ($d = 500$ нм) и мелкие карбиды NbC округлой формы ($d = 70$ нм). Также внутри реек наблюдаются вытянутые частицы легированного цементита $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$.

На рисунке 1 показано изменение ударной вязкости и твердости по Бринеллю стали 10Х9К3В2МФБР в процессе отпуска.

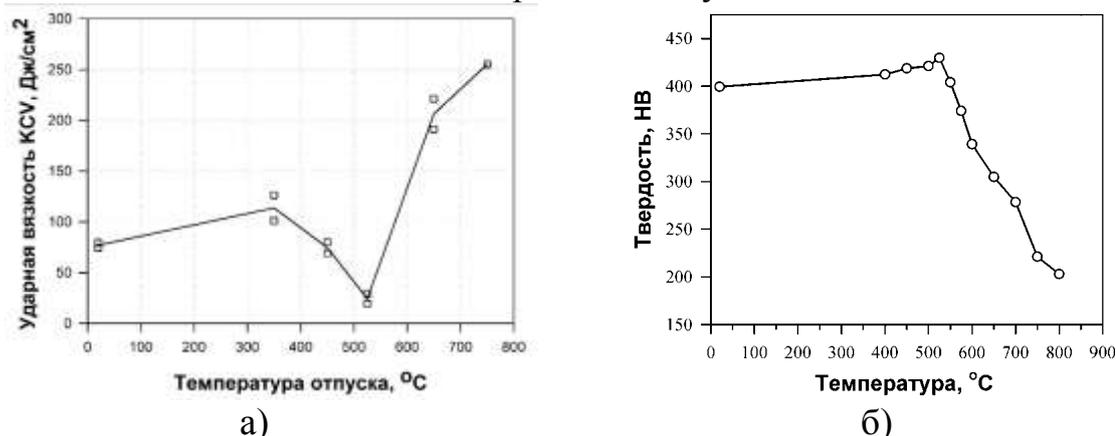


Рисунок 1 – Зависимости ударной вязкости (а) и твердости по Бринеллю (б) от температуры отпуска для стали 10Х9К3В2МФБР

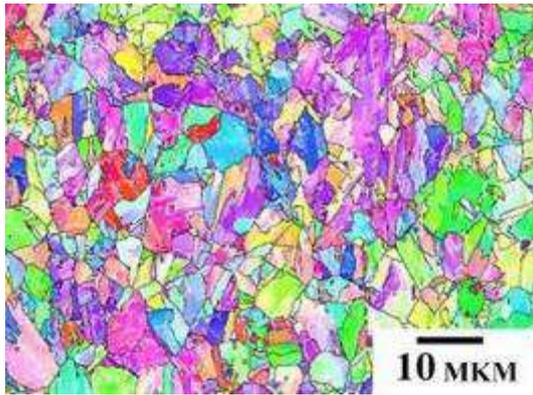
Исследование микроструктуры и механических свойств экспериментальной жаропрочной стали мартенситного класса 10Х9К3В2МФБР после отпуска при различных температурах (300-800°C) позволило установить их зависимость от температуры отпуска.

На графике зависимости ударной вязкости от температуры отпуска наблюдается резкий минимум при температуре 525°C, при этой же температуре на графике зависимости твердости от температуры отпуска наблюдается максимум значения твердости. Это может быть вызвано несколькими взаимосвязанными причинами: - во-первых, повторным мартенситным превращением остаточного аустенита; - во-вторых, выделением специального карбида $M_{23}C_6$ в виде тонких прослоек по границам исходных аустенитных зерен.

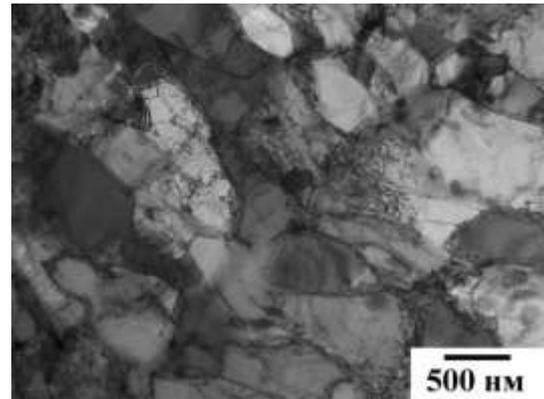
В литературных данных [2] указывается на повышенную стойкость остаточного аустенита в высоколегированных сталях. При этом распад протекает посредством выделения специального карбида, который обедняет аустенит углеродом и повышает температуру начала мартенситного превращения такого аустенита.

При повышении температуры карбидная пленка распадается на отдельные частицы $M_{23}C_6$ (Cr~60%, Fe~20% и W~20%) округлой формы со средним размером около 70 нм. Необходимо заметить, что это ведет к заметному росту ударной вязкости.

Структура стали после отпуска при температуре 750°C представлена на рисунке 2. Средний размер ИАЗ составил около 5 – 10 мкм. Это не типичная структура мартенсита, т.к. можно выделить как участки с ярко выраженной речной структурой, так и участки с субзеренной структурой.



а)



б)

Рисунок 2 – Микроструктура стали 10X9K3B2MFBP после закалки с $T=1050^{\circ}\text{C}$ и отпуска при $T=750^{\circ}\text{C}$ в течение 3 часов: а) карта разориентировок, б) ПЭМ

Исследование структуры методом ПЭМ и РЭМ показало, что по границам пакетов и блоков располагаются выделения вторичных фаз, преимущественно, M_{23}C_6 , со средним размером около 90 нм (Cr~50%, Fe~25%, W~20%). Внутри рек наблюдаются равномерно распределенные частицы $\text{V}(\text{C},\text{N})$ пластинчатой формы (V~55%) и $\text{Nb}(\text{C},\text{N})$ (Nb~80%) округлой формы. Средние размеры этих частиц составляют 20 и 36 нм, соответственно.

Обнаружено, что в процессе отпуска в стали 10X9K3B2MFBP в интервале температур 450 – 525 $^{\circ}\text{C}$ происходит карбидное превращение $\text{M}_3\text{C} \rightarrow \text{M}_{23}\text{C}_6$; происходит выделение более мелких вторичных карбидов ниобия ($d=40\text{нм}$) в интервале температур 525 – 750 $^{\circ}\text{C}$; карбид ванадия ($d=20\text{нм}$) образуется при температуре 750 $^{\circ}\text{C}$.

На основе экспериментальных результатов изучения влияния температуры отпуска на структуру и механические свойства был определен оптимальный режим термической обработки экспериментальной жаропрочной стали 10X9K3B2MFBP: закалка от 1050 $^{\circ}\text{C}$ и отпуск при 750 $^{\circ}\text{C}$ в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе, который обеспечивает требуемый уровень твердости (220 НВ) в сочетании с хорошей ударной вязкостью (255 Дж/см²).

Литература

- 1) Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали. М.: Металлургия, 1985. 408 с.
- 2) Новиков И. И., Золоторевский В. С., Металловедение: Учебник. В 2-ух т. Т. II. – М.: Издательский дом МИСиС, 2009. –528с.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (з/к № П1188).