

3. Зубков А.И., Ильинский А.И., Подгорная О.А., Севрук В.И., Сокол-Прусский Я.Г. О возможности старения быстрозакаленных сплавов Cu-Mo// Физика металлов и металловедение. Свердловск, 1990 №10. с.197-199.
4. Chin L.L., Grant N.S.-"Powder Met." 1967, v.10, №10, p344-357,il.
5. Зубков А.И., Ильинский А.И., Зозуля Э.В., Бармин А.Е., Зеленская Г.И. О реализации наноструктур путём легирования при осаждении в вакууме / Вестник Тамбовского университета Т15, Вып.3, 2010г. с.844-845.

ПОЛЗУЧЕСТЬ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ МАРТЕНСИТНОГО КЛАССА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Кипелова А. Ю., Однобокова М. В.

Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия
kipelova@bsu.edu.ru

Введение

Сталь мартенситного класса с 9%Cr, сертифицированная ASME как P9 [1, 2], была разработана в начале 30-х годов XX века; с середины 50-х годов модификации этой стали начали применять в качестве конструкционных материалов авиационных двигателей и паровых турбин, производимых в бывшем СССР [3,4]. Высокие свойства сталей типа P9 были обеспечены дислокационной структурой троостомартенсита, которая формировалась в результате закалки на воздухе (нормализации) и среднего отпуска. Новая эра в истории сталей, содержащих 9%Cr, началась в 1985 году, когда была разработана сталь ASME P91 [1,6-8], в которой за счет дополнительного, по сравнению со сталью P9, введения 0,2%V-0,08%Nb, была обеспечена устойчивость дислокационной структуры троостомартенсита как при отпуске, так и в процессе ползучести. Это позволило поднять рабочую температуру этой стали до 600°C и создать энергоблоки работающие при суперсверхкритических параметрах пара. В настоящее время основным путем повышения температуры эксплуатации этих сталей остается разработка новых принципов легирования. В данной работе используется иной подход повышения температуры эксплуатации жаропрочных сталей, основанный на оптимизации режимов термической обработки.

Цель настоящей работы – исследование ползучести стали 10X9B1M1ФБР (усовершенствованная версия стали P91) после термической обработки по стандартному и подобранному, оптимальному режимам.

Методика проведения исследований

Исследовали жаропрочную сталь 10X9B1M1ФБР следующего химического состава, % (масс.): 0,13 C, 9,5 Cr, 0,95 W, 1,04 Mo, 0,2 V, 0,06 Nb, 0,05 N, 0,005 B, 0,03 Mn, 0,01 Ni, 0,12 Si, 0,01 P, 0,01 S, остальное – Fe. Часть образцов подвергали нормализации от 1060°C и отпуску при 760°C в течение 3 часов (стандартная термическая обработка), а другую часть подвергали нормализации от 1060°C и двухступенчатому отпуску: первая ступень – 300°, 3 ч, вторая – 760°C, 3 ч (термическая обработка по подобранному режиму). Анализ тонкой структуры осуществляли с использованием просвечивающего электронного микроскопа Jeol "JEM-2100" с ускоряющим напряжением 200 кВ. Испытания на ползучесть проводили при 650°C и напряжении 118 МПа с использованием машины рычажного типа ATS2330 на плоских образцах с базой 25 мм и сечением 7 · 3 мм², изготовленных согласно стандарту ASTM E139-00.

Микроструктура и ползучесть стали после различных термических обработок

Микроструктура стали 10Х9В1М1ФБР после стандартной термической обработки (рисунок 1, *а*) и термической обработки по оптимальному режиму (рисунок 1, *б* и *в*) содержит карбиды $Cr_{23}C_6$, карбонитриды $Nb(C,N)$ и $V(C,N)$. Карбиды $Cr_{23}C_6$ имеют некогерентные границы и располагаются цепочками по границам исходных аустенитных зерен, пакетов, блоков и мартенситных реек (средний размер – 120 нм) (рисунок 1, *а* и *б*). Карбонитриды $V(C,N)$, в виде частиц пластинчатой формы длиной 37 и толщиной 18 нм, располагаются однородно по объему стали. Помимо крупных карбонитридов типа $Nb(C,N)$ размером от 20 до 100 нм (после стандартной термической обработки), электронно-микроскопическое исследование выявило вторичные карбонитриды круглой формы типа $Nb(C,N)$ размером 6 нм (рисунок 1, *в*), выделившиеся во время отпуска при 300°C (термическая обработка по оптимальному режиму). Поперечный размер реек пакетного мартенсита после термической обработки по оптимальному режиму немного ниже, а плотность дислокаций выше по сравнению с состоянием стандартно термически обработанным.

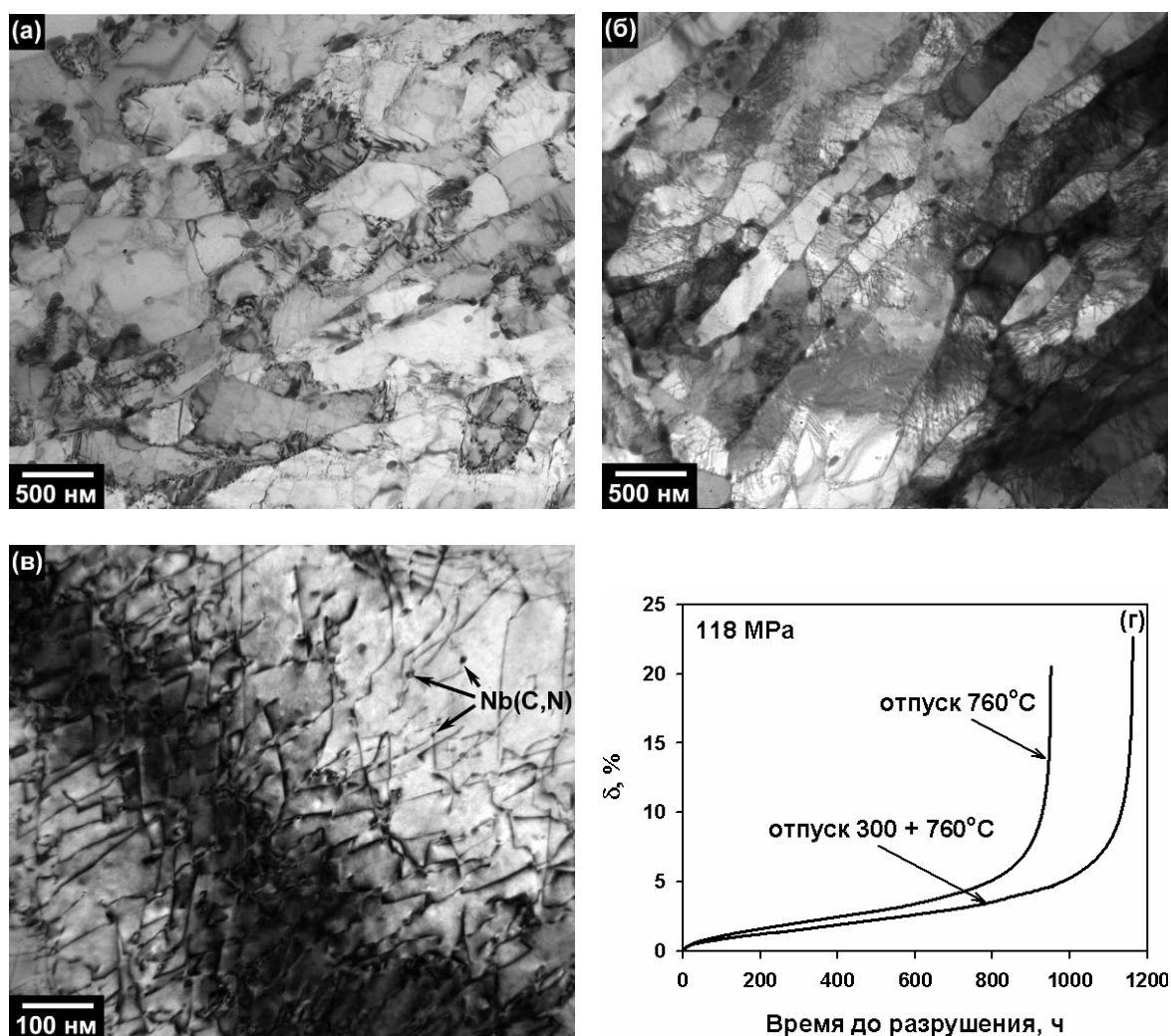


Рис. 1. Микроструктура стали 10Х9В1М1ФБР после термической обработки по стандартному (*а*) и оптимальному (*б*, *в*) режимам и кривые ползучести стали 10Х9В1М1ФБР при температуре 650°C и напряжении 118МПа (*г*)

Результаты испытания на ползучесть показали, что термическая обработка по оптимальному режиму увеличивает время до разрушения на 20% (рисунок 1, з), а скорость установившейся ползучести уменьшает на 20%. Это можно связать с тем, что выделившиеся во время отпуска при 300°C карбонитриды Nb(C,N) размером 6 нм, эффективно закрепляют дислокации (рисунок 1, в), тем самым, препятствуя их движению и упрочняя сталь.

Выводы:

1) Отпуск при температуре 300°C приводит к выделению мелкодисперсных карбонитридов Nb(C,N), которые эффективно упрочняют сталь.

2) Термическая обработка стали 10X9B1M1ФБР по оптимальному режиму позволяет на 20% увеличить время до разрушения при испытаниях на ползучесть при температуре 650°C по сравнению со сталью обработанной по стандартному режиму.

Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием Белгородского государственного университета, в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы, государственного контракта № П524.

Список литературы

1. Kaybyshev R.O., Skorobogatykh V.N., Shchenkova I.A. New martensitic steels for fossil power plant: Creep resistance // Physics of Metals and Metallography. – 2010. – Vol.109. – P. 186-200.
2. Landolt-Bornstein. Creep properties of heat resistant steels and superalloys Group VIII // Advanced Mat. Tech. 2003. Vol. 2B. P. 144-149.
3. Ланская К.А. Высокохромистые жаропрочные стали. М.: Металлургия. 1976. 216 стр.
4. Лашко Н.Ф., Заславская Л.В., Козлова М.Н., Морозова Г.И., Сорокина К.И., Яковлева Е.Ф. Физико-химический фазовый анализ сталей и сплавов. М.: Металлургия. 1978. 335 стр.
5. Helis L., Toda Y., Hara T., Miyazaki H., Abe F. Effect of cobalt on the microstructure of tempered martensitic 9Cr steel for ultra-supercritical power plants // Mater.Sci.Eng. 2009 Vol.A510-511 P.88-94.
6. 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.
7. Vismanathan R., Henry J.F., Tanzosh J., Stanko G. U.S. Program on materials technology for ultra-supercritical coal power plants // J. Mater. Eng. Perfor. 2005. Vol. 14. № 3. P. 281-292.
8. Abe F., Taneike M., Sawada K. Alloy design of creep resistant 9Cr steel using a dispersion of nano-sized carbonitrides // Inter. J. Press. Vess. Pip. 2007. Vol. 84. P. 3-12.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ ТРУБ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ

Прудникова О. Р., Щербаков Э. Д.

Белорусский национальный технический университет, Минск, РБ

e.o.r@mail.ru

Традиционно широкое применение тонкостенные электросварные трубы находят при изготовлении изделий из труб, таких как детали газовых плит и холодильников, автомобилей и велосипедов, мебели, а также других бытовых и примышленных това-