



(51) МПК
C21D 6/00 (2006.01)
C21D 8/00 (2006.01)
C22C 38/54 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C21D 6/00 (2019.05); C21D 8/00 (2019.05); C22C 38/54 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018128028, 31.07.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 31.07.2018

Дата регистрации:
 01.08.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.07.2018

(45) Опубликовано: 01.08.2019 Бюл. № 22

Адрес для переписки:
 308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
 Победы, 85, НИУ "БелГУ", Токтаревой Т.М.

(72) Автор(ы):

Кайбышев Рустам Оскарович (RU),
 Дудова Надежда Рузилевна (RU),
 Дудко Валерий Александрович (RU),
 Федосеева Александра Эдуардовна (RU),
 Мишнев Роман Владимирович (RU),
 Ткачев Евгений Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Белгородский государственный
 национальный исследовательский
 университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2520286 С, 20.06.2014. SU 1090735
 А, 07.05.1984. RU 2655496 С1, 28.05.2018. RU
 2034048 С1, 30.04.1995. RU 2497974 С2,
 10.11.2013.

(54) СПОСОБ ОБРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНОЙ МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к технологии обработки жаропрочных мартенситных сплавов, применяемых в энергетической промышленности в качестве конструкционных материалов для производства котлов, роторов и другого оборудования тепловых электростанций нового поколения, работающих при температуре до 650°C. Способ включает выдержку стали в аустенитной области при температуре 1040-1100°C с последующим охлаждением на воздухе,

отпуск при температуре 760-780°C и термомеханическую обработку. Термомеханическая обработка заключается в деформации от 0,5 до 2% при температуре в интервале $\pm 100^\circ\text{C}$ около температуры эксплуатации со скоростью от 10^{-3} до 10^{-6} с⁻¹. При изготовлении труб деформацию во время термомеханической обработки осуществляют путем правки, а при изготовлении лопаток используют калибровку. 1 з.п. ф-лы, 1 табл.

RU 2 696 302 C1

RU 2 696 302 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C21D 6/00 (2006.01)
C21D 8/00 (2006.01)
C22C 38/54 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

C21D 6/00 (2019.05); C21D 8/00 (2019.05); C22C 38/54 (2019.05)(21)(22) Application: **2018128028, 31.07.2018**(24) Effective date for property rights:
31.07.2018Registration date:
01.08.2019

Priority:

(22) Date of filing: **31.07.2018**(45) Date of publication: **01.08.2019 Bull. № 22**

Mail address:

308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul. Pobedy, 85, NIU "BelGU", Toktarevoj T.M.

(72) Inventor(s):

**Kajbyshev Rustam Oskarovich (RU),
Dudova Nadezhda Ruzilevna (RU),
Dudko Valerij Aleksandrovich (RU),
Fedoseeva Aleksandra Eduardovna (RU),
Mishnev Roman Vladimirovich (RU),
Tkachev Evgenij Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU
"BelGU") (RU)****(54) TREATMENT METHOD OF HEAT-RESISTANT MARTENSITE STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy, namely to processing of heat-resistant martensite alloys used in power industry as structural materials for production of boilers, rotors and other equipment of new generation thermal power plants operating at temperature of up to 650 °C. Method comprises holding steel in an austenite region at temperature of 1,040–1,100 °C with subsequent cooling in air, tempering at temperature of 760-780°C and

thermomechanical treatment. Thermomechanical treatment consists in deformation from 0.5 to 2 % at temperature in interval ± 100 °C near operation temperature with speed of 10^{-3} up to 10^{-6} s⁻¹. When making pipes, deformation during thermomechanical treatment is performed by way of straightening, and during blades production calibration is used.

EFFECT: disclosed is a method of processing heat-resistant martensite steel.

1 cl, 1 tbl

Изобретение относится к области металлургии, а именно к технологии обработки жаропрочных мартенситных сталей, применяемых в энергетической промышленности в качестве конструкционных материалов для производства котлов, роторов и другого оборудования тепловых электростанций нового поколения, работающих при

5 температуре до 650°C.

Известны жаропрочные высокохромистые стали мартенситного класса типа P92, которые используются для изготовления высокотемпературных трактов котлов, главных паропроводов, паровых турбин угольных энергоблоков с рабочей температурой пара до 650°C, поскольку обладают высоким сопротивлением ползучести. Высокая

10 жаропрочность этих сталей обусловлена структурой троостита отпуска, в которой сохраняется дислокационная структура пакетного мартенсита, формирующегося при нормализации. Стабильность структуры при высоких температурах обеспечивается выделяющимися при отпуске дисперсными частицами карбидов M23C6,

15 преимущественно расположенными по границам исходных аустенитных зерен, пакетов, блоков и реек мартенсита, и карбонитридов MX, равномерно распределенных внутри реек.

В настоящее время термическая обработка жаропрочных сталей мартенситного класса типа P92 обычно представляет собой выдержку в аустенитной области при 1040-1100°C с последующим охлаждением на воздухе и отпуском при температурах 750-

20 780°C. В процессе выдержки при температурах 1040 - 1150°C происходит практически полное растворение карбидов и карбонитридов присутствовавших в сталях, а при дальнейшем охлаждении на воздухе или в воде в сталях формируется структура пакетного мартенсита. Последующий отпуск при температуре 650 -780°C приводит к выделению карбидов M23C6 (размером 50 - 170 нм) и карбонитридов и MX (размером

25 14 - 40 нм) [Maruyama K. Strengthening mechanisms of creep resistant tempered martensitic steel / K. Maruyama, K. Sawada, J. Koike // ISIJ Int. - 2001. - Vol.41. - P. 641-653; Ennis, P. J. Recent advances in creep resistant steels for power plant applications / P. J. Ennis, A. Czyrska-Filemonowicz // Operat. Maint. Mater. - 2002. - Vol.1. - P. 1-28]. Дисперсные частицы сдерживают движение дислокаций и миграцию границ. В результате, структура троостита

30 отпуска сохраняется в процессе ползучести при повышенных температурах. Именно сочетание дислокационной структуры троостита отпуска с наночастицами вторичных фаз обеспечивает уникальные свойства сталей мартенситного класса.

Наиболее близким к заявляемому является способ термической обработки жаропрочной стали мартенситного класса 10X10K3B2MФБР, в состав которой входят

35 в мас. %: 0,1 C; 0,06 Si; 0,1 Mn; 10,0 Cr; 0,17 Ni; 0,7 Mo; 0,05 Nb; 0,2 V; 0,003 N; 0,008 B; 2,0 W; 3,0 Co; 0,002 Ti; 0,006 Cu; 0,01 Al; остальное – Fe, который был выбран в качестве прототипа, описанный в научной статье [Mishnev R., Dudova N., Kaibyshev R. On the Origin of the Superior Long-Term Creep Resistance of a 10%Cr Steel, Materials Science & Engineering A V. 713, 2018 pp. 161-173]. Способ термической обработки включает:

40 - выдержку в аустенитной области при температуре 1060°C в течение 1 часа с последующим охлаждением на воздухе;

- отпуск при температуре 770°C в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе.

Структура, полученная в результате термообработки, обеспечивает высокое

45 сопротивление ползучести: предел длительной прочности стали 10X10K3B2MФБР при температуре 650°C на базе 105 часов составляет 107 МПа, что почти на 40% выше предела длительной прочности стали P92. Кроме того, сталь демонстрирует совершенно уникальное время до разрушения при температуре 650°C и нагрузке 120 МПа. Время

до разрушения составляет 39437 часов, что не имеет аналогов во всем мире [Kaibyshev R., Mishnev R., Fedoseeva A., Dudova, N. The role of microstructure in creep strength of 9-12%Cr steels, Materials Science Forum, Volume 879, 2017, Pages 36-41].

Однако в результате испытаний был выявлен и недостаток данной стали, который может существенно ограничить ее применение в промышленности. Предел ползучести данного материала составляет всего 66 МПа на базе 105 часов, кроме того на начальной стадии ползучести, а именно до деформации 2%, сталь демонстрирует достаточно высокую скорость деформации. Предел ползучести важный показатель для элементов турбины, а именно лопаток, при проектировании которых предъявляются допуски к удлинению в процессе эксплуатации. Для оценки предела ползучести сталей используется эмпирическая зависимость между напряжением и временем до достижения 1% деформации (уравнение Ларсена–Миллера):

$$P = T(\lg \tau + 36) \times 10^{-3},$$

где P - параметр Ларсена-Миллера, τ - время до достижения 1% деформации при ползучести. Увеличение времени до достижения 1% деформации приводит к увеличению предела ползучести.

Задачей изобретения является разработка способа обработки жаропрочной стали мартенситного класса 10X10K3B2MФБР, обеспечивающего увеличение времени до достижения 1% деформации при испытании на ползучесть, и сохранение высокого сопротивления ползучести при температуре 650°C.

Технический результат изобретения заключается в том, что разработанный режим термомеханической обработки стали 10X10K3B2MФБР обеспечивает увеличение времени до достижения 1% деформации при испытании стали на ползучесть, при этом сохраняется высокое время до разрушения при температуре 650°C и напряжении 120 МПа. Деформация при этом происходит за счет движения имеющихся в материале дислокаций без активации источников Франка-Рида, испускающих новые дислокации, что приводит к сохранению высокой плотности дислокаций в структуре троостита отпуска без активации реакции взаимодействия речных границ и решеточных дислокаций; и увеличению числа дислокаций закрепленных наноразмерными частицами карбонитридов МХ.

Поставленная задача решается предложенным способом термомеханической обработки жаропрочной стали мартенситного класса 10X10K3B2MФБР, включающий выдержку стали в аустенитной области при температуре 1040-1100°C с последующим охлаждением на воздухе и отпуск при температуре 760-780°C, в который внесены новые признаки:

- дополнительная термомеханическая обработка, которая заключается в деформации от 0,5 до 2% при температуре в интервале $\pm 100^\circ\text{C}$ около температуры эксплуатации, со скоростью от 10^{-3} до 10^{-6}c^{-1} ;
- при этом при изготовлении труб деформацию во время дополнительной термомеханической обработки осуществляют путем правки, а при изготовлении лопаток - используют калибровку.

Новизна подтверждается тем, что в уровне техники не обнаружены технические решения с предложенной совокупностью признаков, которые обеспечивают достижение заявленного результата. Изобретательский уровень подтверждается тем, что известность влияния указанных отличительных признаков на заявленный технический результат не установлена. Соответствие условию «промышленная применимость подтверждается приведенными ниже примерами.

Примеры осуществления

Сталь 10X10K3B2MФБР, содержащая в мас. %: 0,1 С; 0,06 Si; 0,1 Mn; 10,0 Cr; 0,17 Ni; 0,7 Mo; 0,05 Nb; 0,2 V; 0,003 N; 0,008 B; 2,0 W; 3,0 Co; 0,002 Ti; 0,006 Cu; 0,01 Al; остальное – Fe, была обработана двумя различными способами: первый – традиционной термообработкой, второй – обработка согласно предполагаемому изобретению.

Пример № 1. Традиционный способ. Выдержка при температуре 1060°C в течение 60 минут с последующим охлаждением на воздухе и отпуск при температуре 770°C в течение 3-х часов с последующим охлаждением на воздухе.

Пример № 2. Выдержка при температуре 1060°C в течение 60 минут с последующим охлаждением на воздухе, отпуск при температуре 770°C в течение 3-х часов с последующим охлаждением на воздухе и деформация по схеме одноосного растяжения при температуре 650°C до степени 1% при скорости деформации $\epsilon = 10^{-6} \text{ с}^{-1}$.

Пример № 3. Выдержка при температуре 1060°C в течение 60 минут с последующим охлаждением на воздухе, отпуск при температуре 770°C в течение 3-х часов с последующим охлаждением на воздухе и деформация по схеме одноосного растяжения при температуре 750°C до степени 1% при скорости деформации $\epsilon = 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

Пример № 4. Выдержка при температуре 1060°C в течение 60 минут с последующим охлаждением на воздухе, отпуск при температуре 770°C в течение 3-х часов с последующим охлаждением на воздухе и деформация по схеме одноосного растяжения при температуре 550°C до степени 1% при скорости деформации $\epsilon = 10^{-6} \text{ с}^{-1}$.

Пример № 5. Выдержка при температуре 1060°C в течение 60 минут с последующим охлаждением на воздухе, отпуск при температуре 770°C в течение 3-х часов с последующим охлаждением на воздухе и деформация по схеме одноосного растяжения при температуре 650°C до степени 2% при скорости деформации $\epsilon = 10^{-6} \text{ с}^{-1}$.

Пример № 6. Выдержка при температуре 1060°C в течение 60 минут с последующим охлаждением на воздухе, отпуск при температуре 770°C в течение 3-х часов с последующим охлаждением на воздухе и деформация по схеме одноосного растяжения при температуре 650°C до степени 0,5% при скорости деформации $\epsilon = 10^{-6} \text{ с}^{-1}$.

Результаты испытаний стали на длительную прочность и ползучесть при температуре 650°C и напряжении 120 МПа, которые проводились по ASTM E139-06 и ГОСТ 3248-81, приведены в табл.1.

Таблица 1.

**Свойства стали 10X10K3B2MФБР
при испытании на ползучесть при 650°C и 120 МПа**

№ примера	Способ термической обработки	Время до разрушения, ч	Время до достижения деформации равной 1%, ч
1	Традиционный	39 437	130
2	Согласно предполагаемому изобретению	39 450	1050
3	Согласно предполагаемому изобретению	28 000	1200
4	Согласно предполагаемому изобретению	39 608	260
5	Согласно предполагаемому изобретению	>20 000 испытание продолжается	140
6	Согласно предполагаемому изобретению	>20 000 испытание продолжается	200

Из таблицы 1 видно, что характеристики ползучести стали 10X10K3B2MФБР, обработанной по предлагаемому способу, превосходят соответствующие характеристики стали, обработанной традиционным способом, например, время до достижения деформации равной 1% при температуре испытания 650°C напряжении 120 МПа примерно в 8 раз больше у образца, обработанного по примеру 2, чем у прототипа.

Таким образом, приведенные примеры подтверждают, что задача по разработке способа термомеханической обработки жаропрочной стали мартенситного класса 10X10K3B2MФБР, обеспечивающего с одновременно высоким временем до разрушения, увеличение времени до достижения 1% деформации при испытании на ползучесть при температуре испытания 650°C решена.

(57) Формула изобретения

1. Способ термомеханической обработки жаропрочной стали мартенситного класса, содержащей в мас. %: 0,1 С, 0,06 Si, 0,1 Mn, 10,0 Cr, 0,17 Ni, 0,7 Mo, 0,05 Nb, 0,2 V, 0,003 N, 0,008 B, 2,0 W, 3,0 Co, 0,002 Ti, 0,006 Cu, 0,01 Al, остальное - Fe, включающий термическую обработку путем выдержки стали в аустенитной области при температуре 1040-1100°C с последующим охлаждением на воздухе и отпуском при температуре 760-780°C, отличающийся тем, что после термической обработки осуществляют деформацию стали со степенью от 0,5 до 2% при температуре 650±100°C со скоростью деформации от 10^{-3} до 10^{-6} с⁻¹.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что деформацию осуществляют путем правки при изготовлении труб или путем калибровки при изготовлении лопаток.