



(51) МПК
C22C 38/54 (2006.01)
C22C 38/32 (2006.01)
C21D 8/00 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014148114/02, 28.11.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 28.11.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.11.2014

(43) Дата публикации заявки: 20.06.2016 Бюл. № 17

(45) Опубликовано: 27.09.2016 Бюл. № 27

(56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: WO 2011154515 A1, 15.12.2001. RU
 2447184 C1, 10.04.2012. US 7785426 B2,
 31.08.2010. EP 1466993 A1, 13.10.2004. JP 09-
 296258 A, 18.11.1997.

Адрес для переписки:

308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
 Победы, 85, НИУ "БелГУ" Токтарева Татьяна
 Михайловна

(72) Автор(ы):

Кайбышев Рустам Оскарович (RU),
 Беляков Андрей Николаевич (RU),
 Дудова Надежда Рузилевна (RU),
 Дудко Валерий Александрович (RU),
 Федосеева Александра Эдуардовна (RU),
 Мишнев Роман Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) ЖАРОПРОЧНАЯ СТАЛЬ МАРТЕНСИТНОГО КЛАССА И СПОСОБ ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к составу жаропрочной хромистой стали мартенситного класса, применяемой для изготовления элементов, в том числе котлов, труб паропроводов электростанций. Сталь содержит, мас. %: углерод 0,09-0,13, кремний не более 0,1, марганец 0,3-0,4, хром 8,5-9,5, никель не более 0,2, вольфрам 1,5-2,0,

молибден 0,4-0,6, кобальт 2,5-3,5, ванадий 0,15-0,2, ниобий 0,04-0,06, тантал 0,08-0,1, азот до менее 0,005, бор 0,01-0,013, сера не более 0,006, фосфор не более 0,01, медь не более 0,1, алюминий не более 0,01, железо остальное. Сталь обладает повышенными показателями длительной прочности. 2 н. и 1 з.п. ф-лы, 3 табл.

**С 2
 2 5 9 8 7 2 5
 R U**

**R U
 2 5 9 8 7 2 5
 С 2**



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 598 725**⁽¹³⁾ **C2**

(51) Int. Cl.

C22C 38/54 (2006.01)

C22C 38/32 (2006.01)

C21D 8/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014148114/02, 28.11.2014

(24) Effective date for property rights:
28.11.2014

Priority:

(22) Date of filing: 28.11.2014

(43) Application published: 20.06.2016 Bull. № 17

(45) Date of publication: 27.09.2016 Bull. № 27

Mail address:

308015, Belgorodskaja obl., g. Belgorod, ul. Pobedy,
85, NIU "BelGU" Toktareva Tatjana Mikhajlovna

(72) Inventor(s):

Kajbyshev Rustam Oskarovich (RU),
Belyakov Andrej Nikolaevich (RU),
Dudova Nadezhda Ruzilevna (RU),
Dudko Valerij Aleksandrovich (RU),
Fedoseeva Aleksandra Eduardovna (RU),
Mishnev Roman Vladimirovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU
"BelGU") (RU)

(54) **HEAT-RESISTANT STEEL OF MARTENSITIC CLASS AND PREPARATION METHOD THEREOF**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to composition of heat-resistant chromium martensite steel used for making elements, including boilers, pipes for steam pipelines in power plants. Steel contains, wt. %: carbon 0.09-0.13, silicon - not over 0.1, manganese 0.3-0.4, chromium 8.5-9.5, nickel not over 0.2, tungsten 1.5-2.0,

molybdenum 0.4-0.6, cobalt 2.5-3.5, vanadium 0.15-0.2, niobium 0.04-0.06, tantalum 0.08-0.1, nitrogen - less than 0.005, boron 0.01-0.013, sulfur - not over 0.006, phosphorus not over 0.01, copper not over 0.1, aluminium not over 0.01, iron - the rest.

EFFECT: this steel has high durable strength values. 3 cl, 3 tbl

R U
2 5 9 8 7 2 5
C 2

R U
2 5 9 8 7 2 5
C 2

Изобретение относится к области металлургии, в частности к составу жаропрочной хромистой стали мартенситного класса, а также способу ее получения. Предлагаемая сталь может применяться в энергетической промышленности в качестве конструкционного материала для производства котлов, труб паропроводов и другого оборудования тепловых электростанций нового поколения, работающих при температуре пара до 630°C.

В настоящее время для изготовления элементов тепловых электростанций в Японии и Америке используют сталь марки P92 согласно классификации ASTM A 335 - American Society for Testing and Materials (Американское общество по материалам и методам испытаний). Сталь содержит, мас. %:

Углерод 0,070-0,130
 кремний не более 0,500
 марганец 0,300-0,600
 хром 8,900-9,500
 никель не более 0,400
 вольфрам 1,500-2,000
 молибден 0,300-0,600
 ванадий 0,150-0,250
 ниобий 0,040-0,090
 азот 0,030-0,070
 бор 0,001-0,006
 сера не более 0,010
 фосфор не более 0,020
 алюминий не более 0,040
 железо остальное

После термической обработки, состоящей из нормализации при температуре $T=1070^{\circ}\text{C}$ и отпуска при $T=775^{\circ}\text{C}$, сталь P92 имеет структуру троостомартенсита с выделенными частицами вторых фаз, таких как $M_{23}C_6$, $M(C,N)$. Карбиды $M_{23}C_6$ выделяются по границам бывших аустенитных зерен, границам субзерен и мартенситных реек (средний размер частиц $d=89$ нм), а частицы $M(C,N)$ ($d=16$ нм), которые представлены обогащенными ниобием карбонитридами сфероидальной формы и обогащенными ванадием нитридами пластинчатой формы, распределены однородно по объему материала (T92/P92 Book. Vallourec and Mannesmann tubes. - 1998).

Недостатком стали P92 является ее низкая длительная прочность при ползучести при температурах выше 600°C, что делает невозможным ее применение для изготовления котлов, труб паропроводов и других деталей электростанций, работающих при повышенных параметрах пара (30 МПа, 600-650°C). Механические свойства стали P92 следующие: предел прочности=690 МПа, предел текучести=520 МПа, твердость=220 НВ, ударная вязкость=175 Дж/см², предел длительной прочности при температуре 650°C составляет 72 МПа (T92/P92 Book. Vallourec and Mannesmann tubes. - 1998; Дудко В. А., Беляков А. Н., Скоробогатых В. Н., Щенкова И. А., Кайбышев Р. О. Структурные изменения в жаропрочной стали 10X9 В2МФБР в процессе ползучести при 650°C // МиТОМ. - 2010. - №3. - С. 26 - 32). Низкое сопротивление ползучести стали P92 при температурах выше 600°C обусловлено интенсивной коагуляцией карбидов типа $M_{23}C_6$ и частиц фазы Лавеса при температурах выше 620°C.

Таким образом, одной из основных проблем при создании тепловых электростанций со суперсверхкритическими параметрами пара уровня температур 620-650°C и давления

30-35 МПа является необходимость разработки более жаропрочных и относительно экономичных конструкционных материалов, в том числе для котлов и труб паропроводов.

Наиболее близкой к предлагаемому изобретению является жаропрочная сталь мартенситного класса, раскрытая в патенте №US 7128791 В2 (С22С38/18, опубл. 31.10.2006). Сталь содержит, мас. %:

углерод 0,030 - 0,150
 кремний 0,010 - 0,900
 марганец 0,010-1,500
 10 хром 8,000-13,000
 никель не более 0,200
 вольфрам не более 4,000
 молибден не более 2,000
 ванадий 0,050-0,500
 15 ниобий 0,010-0,200
 азот не более 0,005
 бор 0,008-0,030
 кобальт 0,100-5,000
 сера не более 0,006
 20 фосфор не более 0,010
 алюминий не более 0,010
 железо остальное

Данная сталь обладает высокими показателями длительной прочности при ползучести до температуры 620°C. Это позволяет использовать ее для изготовления трубопроводов и пароперегревателей котлов со сверхкритическими параметрами (Т=620°C и Р=300 атм).

В этой стали, по сравнению со сталью Р92, повышено содержание молибдена и вольфрама до достижения величины молибденового эквивалента (0.5W+Mo)=1,8 с целью повышения твердорастворного упрочнения. Однако увеличение содержания вольфрама более 4% может привести к сильному снижению пластичных свойств из-за образования дельта-феррита и фазы Лавеса. Дисперсионное упрочнение данной стали достигается за счет выделения карбидов типа $M_{23}C_6$ и карбонитридов $M(C,N)$, объемная доля последних увеличена за счет увеличения количества ниобия до 0,2%. Однако увеличение ниобия более 0,2% приводит к избыточному выделению фазы МХ, обогащенной ниобием, вследствие чего снижается ударная вязкость и свойства сварного шва.

Дополнительное повышение сопротивления деформации при ползучести, а также увеличение сопротивления коррозии под напряжением достигается за счет легирования бором в количестве 0,008-0,03%. Это стало возможным в связи с понижением количества азота до 0,005%, так как при обычном соотношении азота к бору (0,05%:0,005%) происходит выделение нитридов бора BN, что негативно сказывается на пластичности материала и ударной вязкости. Также добавление кобальта в размере до 5% позволило существенно увеличить длительную прочность за счет уменьшения скорости укрупнения частиц вторых фаз, особенно карбидов $M_{23}C_6$.

Основным недостатком стали-прототипа является невозможность использования данной стали при температурах пара выше 620°C. Это связано с недостаточно высокими значениями длительной прочности этой стали для температур выше 620°C, а также с невысокими показателями пластичности и ударной вязкости из-за высокого содержания

вольфрама и молибдена.

Наиболее близкий способ получения к предлагаемому способу описывается также в патенте №US 7128791 B2 (С22С38/18, опубл. 31.10.2006) для химического состава жаропрочной мартенситной стали, описанного выше. Способ-прототип получения
 5 представляет собой нормализацию с температур 1050-1200°С с последующим отпуском при температурах 750-850°С. Увеличение температуры нормализации связано с увеличением количества ванадия и ниобия в стали-прототипе, что приводит к увеличению количества карбонитридов МХ, не растворяющихся при температурах
 10 ниже указанных. В свою очередь, слишком высокое количество карбонитридов МХ вызывает сильное измельчение исходного аустенитного зерна, что снижает показатели длительной прочности при ползучести. Температуры отпуска 750-850°С обеспечивают удовлетворительные показатели ударной вязкости и пластичности, что, в свою очередь, влияет на длительную прочность стали.

Недостатком способа-прототипа является то, что термическая обработка,
 15 предложенная в патенте №US 7128791, не может быть использована для обработки заявленной стали.

Задача изобретения заключается в устранении недостатков прототипа.

Технический результат предложенной стали заключается в том, что достигнут
 20 требуемый уровень такой характеристики жаропрочности, как длительная прочность $\sigma_{10'}^{650^{\circ}\text{C}} = 100$ МПа при температуре 650°С при нижеуказанном содержании компонентов и способе получения, включающем нормализацию с температур 1070-1200°С и выдержку из расчета 1 минута на 1 мм поперечного сечения образца с последующим охлаждением на воздухе до комнатных температур, ковку при температуре в интервале 950-1070°С,
 25 отпуск при температурах 770-850°С, выдержку не менее 3 часов с последующим охлаждением на воздухе.

Поставленная задача решается предлагаемой жаропрочной сталью мартенситного класса при следующем соотношении компонентов, мас. %:

углерод 0,090 - 0,130
 30 кремний не более 0,100
 марганец 0,300-0,400
 хром 8,500-9,500
 никель не более 0,200
 вольфрам 1,500-2,000
 молибден 0,400-0,600
 35 ванадий 0,150-0,200
 ниобий 0,040-0,060
 тантал 0,080-0,100
 азот не более 0,007
 бор 0,010-0,013
 40 кобальт 2,500-3,500
 сера не более 0,006
 фосфор не более 0,010
 алюминий не более 0,010
 45 медь не более 0,10
 железо остальное

Состав предложенной стали содержит следующие известные признаки.

Содержание углерода в количестве 0,09-0,13% повышает прокаливаемость стали, а также обеспечивает образование карбидных фаз типа $M_{23}C_6$ и МХ. При содержании

углерода менее 0,05% резко снижается доля карбидов $M_{23}C_6$, что негативно сказывается на сопротивлении ползучести. При содержании углерода более 0,15% сталь переупрочняется, вследствие чего ухудшаются характеристики пластичности и ударной вязкости.

5 Кремний в количестве <0,10% и марганец в количестве 0,3-0,4% использованы для раскисления стали. Содержание кремния как технологической примеси обычно не превышает 0,37%. Кремний как технологическая примесь влияния на свойства стали не оказывает. В сталях, предназначенных для сварных конструкций, содержание кремния не должно превышать 0,12-0,25%. При содержании кремния более 0,1% усиливается
10 склонность к образованию дельта-феррита, который неблагоприятно сказывается на ударной вязкости. Марганец также вводят в стали как технологическую добавку для повышения степени их раскисления и устранения вредного влияния серы. Марганец также способствует выделению карбидов $M_{23}C_6$. При содержании марганца более 0,8% снижается длительная прочность при ползучести.

15 Содержание хрома 8,5-9,5% повышает коррозионную стойкость, обеспечивает формирование карбидов типа $M_{23}C_6$, является необходимым элементом для повышения прочности и коррозионной стойкости при повышенных температурах. При содержании хрома менее 8% сталь не обеспечивается достаточным уровнем коррозионной стойкости.
20 При содержании хрома более 10% в структуре стали возрастает доля дельта-феррита, понижаются ударная вязкость и технологические свойства.

Кобальт в количестве 2,5-3,5% повышает твердорастворное упрочнение. Как аустенитобразующий элемент, кобальт сдерживает образование дельта-феррита. Кобальт уменьшает скорость коагуляции карбидов $M_{23}C_6$ в процессе ползучести, что
25 повышает сопротивление долговременной ползучести. При содержании кобальта менее 2,5% происходит образование дельта-феррита. При избыточном содержании кобальта более 3,5% происходит уменьшение пластичности стали.

Содержание ванадия в количестве 0,15-0,2% обеспечивает упрочнение твердого раствора и получение более мелких карбонитридов, что повышает длительную
30 прочность.

Никель в количестве до 0,2% улучшает прокаливаемость стали и вязкость, сдерживает образование дельта-феррита. Повышение содержания никеля свыше 0,2% нецелесообразно, так как уменьшает длительную прочность из-за ускорения укрупнения
частиц.

35 Ограничение содержания фосфора до 0,01% и серы до 0,006% способствует получению более высоких характеристик пластичности стали.

При содержании алюминия свыше 0,01% образуются нитриды, которые снижают длительную прочность.

40 Кроме того, предложенная сталь включает следующие новые, неизвестные из уровня техники, признаки:

- изменено содержание молибдена и вольфрама, которые являются элементами, упрочняющими твердый раствор. Оптимизация содержания молибдена и вольфрама уменьшает количество выделяемой фазы Лавеса, которая снижает сопротивление ползучести при длительных выдержках (Huiran Cui and other Precipitation of Laves phase
45 in 10%Cr steel X12CrMoWVNbN10-1-1 during short-term creep exposure //Materials Science and Engineering A 527 (2010) 7505-7509). В целях предотвращения образования дельта-феррита и избыточной фазы Лавеса содержание молибдена и вольфрама должно удовлетворять соотношению $(Mo, W)=1,9-2,6$.

- в состав стали включен тантал в количестве 0,08-0,1%, что повышает объемную долю устойчивых карбонитридов МХ и увеличивает сопротивление ползучести. При содержании ниобия в количестве 0,04-0,06% целесообразно введение в сталь тантала с целью двухфазного разделения карбонитридов МХ на ТаС и NbС, что сильно повышает длительную прочность и предотвращает образование неблагоприятной Z-фазы. Содержание ниобия и тантала должно удовлетворять соотношению Та/Nb=2.

- повышено содержание азота до 0,007%, что способствует образованию обогащенных ванадием нитридов и повышает длительную прочность. При избыточном содержании азота более 0,007% происходит образование крупных нитридов бора BN, которые снижают свариваемость и ковкость стали. При содержании азота до 0,007% целесообразно повышение содержания бора до 0,01-0,013%. Бор сегрегирует по границам зерен, преимущественно бывшим аустенитным, что подавляет зернограницное проскальзывание и тем самым увеличивает время до разрушения. Бор в предлагаемой стали входит в состав карбидов типа $M_{23}C_6$ и уменьшает скорость их коагуляции при повышенных температурах, что повышает сопротивление деформации при ползучести. Кроме того, бор повышает сопротивление коррозии под напряжением и нивелирует неблагоприятное влияние повышенного содержания ванадия на окалиностойкость. При содержании бора свыше 0,012% снижается свариваемость и ковкость стали.

- в состав стали включена медь в количестве не более 0,1% для предотвращения образования дельта-феррита в процессе высокотемпературной деформации, а также для образования мелкодисперсной фазы Лавеса на медных кластерах в процессе ползучести, что повышает сопротивление ползучести стали. Количество добавляемой меди определяется из баланса аустенит- и феррит-стабилизирующих элементов.

Способ получения предложенной стали заключается в проведении нормализации при температуре в интервале 1070-1200°C с последующим отпуском при температурах 770-850°C, в который введены следующие новые признаки:

- проведение операции ковки между операциями нормализации и отпуска;
- режим ковки при температуре в интервале 950-1070°C,
- отпуск не менее 3 часов с последующим охлаждением на воздухе.

Добавление тантала в предложенной стали приводит к увеличению температуры растворения карбонитридов МХ, которые сдерживают рост аустенитных зерен при выдержке в аустенитной области. Уменьшение размера исходного аустенитного зерна приводит к уменьшению длительной прочности. В целях получения оптимального размера исходного аустенитного зерна (10-20 мкм) путем частичного растворения карбонитридов МХ необходимо применять температуру нормализации в интервале 1070-1200°C, отличную от традиционных значений около 1050°C.

Операция ковки добавляется с целью повышения пластичности и ударной вязкости, которые снижаются вследствие увеличения содержания и стойкости к коагуляции карбонитридов МХ в стали, что негативно сказывается на длительной прочности. Ковка при температуре в интервале 950-1070°C повышает ударную вязкость и пластичность стали, что повышает длительную прочность.

Время выдержки при отпуске в течение трех часов обеспечивает завершение процесса глобуляризации карбидов $M_{23}(B-C)_6$, обуславливает высокую ударную вязкость и пластичность и, соответственно, положительно сказывается на повышении длительной прочности.

Примеры осуществления

Были отлиты сплавы предлагаемых химических составов как в рамках заявленных интервалов, так и за их пределами (табл.1). Выплавка сплавов производилась в

вакуумно-индукционной печи. В качестве шихты были использованы чистые шихтовые материалы, что позволило получить низкий уровень серы, фосфора и цветных металлов в полученных материалах.

Таблица 1

Химический состав предлагаемой стали по примерам 1-4 и стали-прототипа

Сталь	C	Si	Mn	Cr	Ni	Co	Mo	W	V	Nb	N	B	Ta	Al	S	P	Cu
Пример 1	0,10	0,1	0,30	9,0	0,2	3,0	0,5	2,0	0,2	0,04	0,007	0,012	0,1	0,01	0,006	0,008	0,027
Пример 2	0,09	0,05	0,25	8,5	0,18	2,5	0,4	1,5	0,15	0,04	0,007	0,01	0,08	0,01	0,005	0,008	0,03
Пример 3	0,13	0,10	0,30	9,5	0,24	3,5	0,6	2,0	0,20	0,06	0,005	0,013	0,12	0,01	0,006	0,008	0,027
Пример 4	0,10	0,08	0,35	9,2	0,15	3,0	0,5	1,8	0,18	0,02	0,006	0,008	0,06	0,01	0,006	0,008	0,03
Прототип	0,09	0,3	0,5	8,99	0,01	3	0,01	2,91	0,2	0,05	0,003	0,014	-	0,003	0,001	0,001	0,003

Необходимо отметить, что в первых трех примерах осуществления стали количество легирующих элементов входит в пределы, указанные в настоящем изобретении. Однако в последнем примере было допущено отклонение от заданного химического состава, а именно нарушено соотношение ниобия и тантала, при этом содержание ниобия и тантала меньше нижнего предела.

Способ осуществления изобретения включал в себя операции нормализации,ковки и отпуска при различных заявленных температурах. С целью проверки допустимости температурных пределов были опробованы различные варианты способа получения для примеров 1-4, отличающиеся температурами нормализации,ковки и отпуска, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Режимы способа получения предлагаемых сталей и стали-прототипа

Операция	Температура, °C				Способ получения стали-прототипа
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	
Нормализация	1200	1070	1070	1050	1150
Ковка	1000	950	1050	950	-
Отпуск	800	850	720	770	850

Для способа получения по вариантам 1, 2 и 4 температуры операций и время отпуска соответствуют указанным пределам. Для сравнения в варианте 3 была понижена температура отпуска до 720°C, что меньше нижнего предела температуры отпуска.

Испытания на длительную прочность были проведены по ГОСТ 3248-81 (табл.3). Как видно из табл. 3, механические свойства предлагаемых примеров стали, химический состав которых соответствует заявленным пределам, и подвергнутых термомеханической обработке по вариантам способа получения 1, 2 и 4, выше по сравнению со свойствами стали-прототипа. Если предел длительной прочности известной стали составляет $\sigma_{10}^{650\text{ }^{\circ}\text{C}} = 90$ МПа, то предлагаемых примеров стали и вариантов способа ее получения в $\sigma_{10}^{650\text{ }^{\circ}\text{C}} = 98 \pm 6$ МПа.

Однако при легировании стали не в указанных пределах длительная прочность снижается, что связано с низким содержанием ниобия и тантала меньше нижнего предела и с нарушением соотношения ниобия и тантала, которые при таком количестве не оказывает положительного эффекта, что снижает дисперсионное упрочнение. Способ получения по варианту 3 не обеспечивает достижения требуемой длительной прочности вследствие неэффективности дисперсионного упрочнения, обусловленной неполным завершением глобуляризации карбидов $M_{23}C_6$ и отсутствием обогащенных ванадием карбонитридов после отпуска при низкой температуре.

Испытания на ползучесть при температуре 650°C

Длительная прочность при ползучести, σ за 10^5 час, МПа		Химический состав сталей				
		Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Сталь-прототип
Способ получения	Вариант 1	95	96	95	75	90
	Вариант 2	101	100	99	83	
	Вариант 3	85	83	85	75	
	Вариант 4	98	97	97	85	

Кроме того, установлено, что достижение поставленной задачи не обеспечивается в случае сокращения времени отпуска менее трех часов даже при соблюдении температурных режимов.

Как видно из табл. 3, свойства предлагаемой стали позволяют применять ее для изготовления котлов, роторов и других элементов энергетических установок.

Использование стали в теплоэнергетике позволит поднять рабочую температуру тепловых электростанций до 630°C.

Формула изобретения

1. Жаропрочная сталь мартенситного класса, содержащая углерод, кремний, марганец, хром, никель, вольфрам, молибден, ванадий, ниобий, азот, бор, кобальт, серу, фосфор, алюминий, медь, тантал и железо, отличающаяся тем, что она содержит компоненты при следующем соотношении, мас. %:

углерод 0,09-0,13

кремний не более 0,10

марганец 0,30-0,40

хром 8,50-9,50

никель не более 0,20

вольфрам 1,50-2,00

молибден 0,40-0,60

ванадий 0,15-0,20

ниобий 0,04-0,06

тантал 0,08-0,10

азот до менее 0,005

бор 0,01-0,013

кобальт 2,50-3,50

сера не более 0,006

фосфор не более 0,01

алюминий не более 0,01

медь не более 0,1

железо остальное

2. Сталь по п. 1, отличающаяся тем, что отношение содержания тантала к содержанию ниобия (Ta/Nb) составляет 2.

3. Способ получения жаропрочной стали мартенситного класса по п. 1, характеризующийся тем, что выплавляют сталь, проводят нормализацию при температуре в интервале 1070-1200°C, ковку при температуре в интервале 950-1070°C и последующий отпуск в течение не менее 3 часов при температурах 770-850°C с последующим охлаждением на воздухе.