



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009138427/02, 20.10.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
20.10.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.10.2009

(45) Опубликовано: 27.03.2011 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: EP 1645649 A1, 12.04.2006. RU 2221895 C1,  
20.01.2004. RU 72697 U1, 27.04.2008. SU  
1168372 A1, 23.07.1985. JP 08-225884 A,  
03.09.1996. JP 04-268040 A, 24.09.1992. JP 09-  
324246 A, 16.12.1997. JP 2004-323937 A,  
18.11.2004.

Адрес для переписки:

119991, Москва, ГСП-1, Ленинский пр-кт, 49,  
Учреждение Российской академии наук  
Институт металлургии и материаловедения  
им. А.А. Байкова РАН (ИМЕТ РАН),  
зам.директора В.Т.Заболотному

(72) Автор(ы):

Банных Олег Александрович (RU),  
Блинов Виктор Михайлович (RU),  
Банных Игорь Олегович (RU),  
Блинов Евгений Викторович (RU),  
Зверева Тамара Николаевна (RU),  
Ригина Людмила Георгиевна (RU),  
Дуб Владимир Семенович (RU),  
Берман Леонид Исаевич (RU),  
Скоробогатых Владимир Николаевич (RU),  
Тыкочинская Татьяна Васильевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Учреждение Российской академии наук  
Институт металлургии и материаловедения  
им. А.А. Байкова РАН (ИМЕТ РАН) (RU)

## (54) ЖАРОПРОЧНАЯ ВЫСОКОПЛАСТИЧНАЯ АУСТЕНИТНАЯ СТАЛЬ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к составам жаропрочной высокопластичной аустенитной стали, используемой для изготовления деталей и узлов энергетических установок, работающих длительное время при температурах до 650°C. Сталь содержит углерод, хром, марганец, никель, алюминий, бор, церий, кремний, вольфрам, ванадий, ниобий, железо и неизбежные примеси при следующем соотношении компонентов, мас. %: углерод 0,02-0,06, кремний 0,10-0,40,

марганец 16-19, хром 14-16, никель 5,5-7,0, вольфрам 0,5-0,9, ванадий 0,1-0,2, ниобий 0,1-0,2, алюминий 0,3-0,9, церий 0,05-0,20, бор 0,002-0,050, железо и неизбежные примеси остальное. Для компонентов стали выполняется условие:  $([Ni]+0,5[Mn]+30[C])/([Cr]+0,5[W]+1,5[Si]+0,5[Nb])=0,8-1,0$ , а отношение содержания углерода к суммарному содержанию ванадия и ниобия составляет  $0,06 \div 0,20$ . Повышается пластичность и стабильность аустенита при сохранении повышенной жаропрочности. 3 з.п. ф-лы, 4 табл.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2009138427/02, 20.10.2009**(24) Effective date for property rights:  
**20.10.2009**

Priority:

(22) Date of filing: **20.10.2009**(45) Date of publication: **27.03.2011 Bull. 9**

Mail address:

**119991, Moskva, GSP-1, Leninskij pr-kt, 49,  
Uchrezhdenie Rossijskoj akademii nauk Institut  
metallurgii i materialovedenija im. A.A. Bajkova  
RAN (IMET RAN), zam.direktora  
V.T.Zabolotnomu**

(72) Inventor(s):

**Bannykh Oleg Aleksandrovich (RU),  
Blinov Viktor Mikhajlovich (RU),  
Bannykh Igor' Olegovich (RU),  
Blinov Evgenij Viktorovich (RU),  
Zvereva Tamara Nikolaevna (RU),  
Rigina Ljudmila Georgievna (RU),  
Dub Vladimir Semenovich (RU),  
Berman Leonid Isaevich (RU),  
Skorobogatykh Vladimir Nikolaevich (RU),  
Tykochinskaja Tat'jana Vasil'evna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Uchrezhdenie Rossijskoj akademii nauk Institut  
metallurgii i materialovedenija im. A.A. Bajkova  
RAN (IMET RAN) (RU)**

**(54) HEAT-RESISTANT HIGH-DUCTILE AUSTENITE STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: steel contains carbon, chromium, manganese, nickel, aluminium, boron, cerium, silicon, tungsten, vanadium, niobium, iron and unavoidable impurities at following ratio of components, wt %: carbon 0.02 - 0.06, silicon 0.10 - 0.40, manganese 16 - 19, chromium 14 - 16, nickel 5.5 - 7.0, tungsten 0.5 - 0.9, vanadium 0.1 - 0.2, niobium 0.1 - 0.2, aluminium 0.3 - 0.9, cerium 0.05 -

0.20, boron 0.002 - 0.050, iron and unavoidable impurities - the rest. For components of steel there is maintained condition:  $([Ni]+0.5[Mn]+30[C])/[Cr]+0.5[W]+1.5[Si]+0.5[Nb]=0.8-1.0$ , while ratio of contents of carbon to summary contents of vanadium and niobium is 0.06-0.20.

EFFECT: raised ductility and stability of austenite at maintaining increased heat resistance.

4 cl, 4 tbl

Изобретение относится к области металлургии стали и может быть использовано для длительной службы деталей и узлов энергетических установок, работающих при температурах до 650°C.

Для вышеуказанных условий работы в настоящее время широко применяются хромоникелевые аустенитные стали типа 1X18H9T и X16H13M3 и др. (М.В.Приданцев, К.А.Ланская. Стали для котлостроения. Металлургиздат, Москва, 1959 г. С.Б.Масленков, Е.А.Масленкова. Стали и сплавы для высоких температур. Справочник. Металлургия, Москва, 1991 г.).

Эти стали содержат от 9 до 14% дефицитного никеля и имеют сравнительно низкие показатели сопротивления локальным разрушениям в околошовной зоне. Эти стали обладают низкой прочностью при комнатной и повышенных температурах ( $\sigma_{0,2}^{20^\circ\text{C}} \leq 220$  МПа,  $\sigma_{0,2}^{630^\circ\text{C}} \leq 132$  МПа) и удовлетворительной жаропрочностью при температурах не выше 600°C. В результате длительного пребывания при температурах 600-700°C сталь 1X18H9T приобретает склонность к охрупчиванию из-за образования  $\sigma$ -фазы. С нестабильностью структуры стали 1X18H9T связан большой разброс по характеристикам ползучести. Например, при 593°C и напряжении 207 МПа время до разрушения образцов стали X18H10 составляло от 84 до 2580 часов. V.K.Sikka, H.E.McCoy. Heat-to heat variation in creep properties of types 304 and 316 stainless steels. Trans ASME. 1975,197, №4, p.243-251.

У стали X16H13M3 после длительной выдержки в течение 13913 часов при температуре 730°C относительное удлинение и сужение снижается от 65 до 25% (Ф.Эберле Некоторые результаты длительных испытаний трубных сталей. Сб. Исследование жаропрочных сталей и сплавов. М., Металлургиздат, 1960, с.307-316).

Наиболее близким аналогом к предлагаемому техническому решению является жаропрочная аустенитная сталь следующего состава в вес.-%: С до 0,1, Cr 11-13, Mn 12-14, Ni 4.4-4,8, Al 1,2-1,6, Mo 0,4-0,6, Ce 0,01-0,2, В 0,0005-0,007, S до 0,04, P до 0,04, Si до 0,6 и Fe - остальное. При содержании углерода, марганца и никеля (аустенитообразующих элементов) на верхнем пределе указанного состава сталь - прототип имеет стабильную аустенитную структуру после различных режимов термической обработки и пластической деформации. Однако при длительных тепловых выдержках эта сталь имеет пониженные значения пластичности и вязкости в результате выделения карбидов хрома  $\text{Cr}_2\text{3C}_6$ .

В стали - прототипе с содержанием углерода менее 0,03% достигается повышенная пластичность, но не обеспечивается сохранение стабильности аустенитной структуры. После холодной пластической деформации со степенями обжатия более 20% образуется мартенсит. При этом сталь - прототип становится магнитной и имеет низкую пластичность.

Задача, на решение которой направлено настоящее изобретение, заключается в создании жаропрочной высокопластичной стабильно аустенитной стали.

Технический результат изобретения заключается в повышении пластичности и стабильности аустенита при сохранении повышенной жаропрочности.

Технический результат достигается тем, что в жаропрочную аустенитную сталь, содержащую углерод, кремний, хром, марганец, никель, алюминий, церий, бор, железо и неизбежные примеси, согласно изобретению, дополнительно введены вольфрам, ванадий, ниобий при следующем соотношении компонентов, мас.-%:

углерод	0.02-0.06	ванадий	0.1-0.2
кремний	0.10-0.40	ниобий	0.1-0.2

марганец	16-19	алюминий	0.3-0.9
хром	14-16	церий	0.05-0.20
никель	5.5-7.0	бор	0.002-0.050
вольфрам	0.5-0.9		

5 железо и неизбежные примеси - остальное, при этом для значений концентраций легирующих элементов выполняется условие

$$а) \frac{[Ni] + 0,5[Mn] + 30[C]}{[Cr] + 0,5[W] + 1,5[Si] + 0,5[Nb]} = 0,8 \div 1,0$$

10 где [C], [Si], [Mn], [Cr], [W], [Nb] - концентрации в стали углерода, кремния, никеля, марганца, хрома, вольфрама и ниобия соответственно, выраженные в массовых процентах;

15 б) отношение содержания  $\frac{C}{V + Nb}$  (мас.%) должно быть в пределах 0,06-0,20,

при этом в ней формируется развитая субзеренная структура в процессе горячей пластической деформации при температурах 900-1000°C с обжатием 50-70% и последующим охлаждением в воде до комнатной температуры, и сталь приобретает мелкозернистую структуру после закалки в воде от температуры в пределах 1030-20 1070°C, сталь может использоваться при температурах до 700 С.

Содержание в стали углерода  $C=0,02-0,06\%$  достаточно для образования небольшого количества карбидов (V, Nb)C, которые обеспечивают получение после закалки мелкозернистой структуры. При содержании углерода более 0,06% трудно 25 получить удовлетворительные показатели пластичности и ударной вязкости из-за образования при тепловых выдержках большого количества карбидов (V, Nb)C при суммарном содержании ванадия и ниобия на верхнем пределе заявляемого состава или образования карбидов хрома типа  $C_{r23}C_6$  при суммарном содержании ванадия и ниобия на нижнем пределе заявляемого состава стали. Для предотвращения карбидов хрома типа  $C_{r23}C_6$  отношение содержания углерода к суммарному содержанию ванадия и ниобия должно быть в пределах 0,06-0,20.

Введение в сталь ванадия и ниобия в количествах 0,1-0,2% каждого обеспечивает получение мелкозернистой структуры и повышение прочности за счет образования 35 мелкодисперсных карбидов (V, Nb)C. При меньших концентрациях ванадия и ниобия положительный эффект от их введения незначителен. Увеличение содержания ванадия и ниобия более 0,2% приводит к снижению пластичности и ударной вязкости из-за образования большого количества карбидов (V, Nb)C.

40 Для повышения прочности при температурах до 650°C в предлагаемую сталь по сравнению со сталью прототипом введен вольфрам в количествах 0,5-0,9%. При содержании вольфрама более 0,9% возможно образование феррита. При концентрациях вольфрама менее 0,5% эффект упрочнения незначителен.

45 Для повышения длительной прочности в предлагаемую сталь введены добавки 0,002-0,05% бора, который в таких количествах повышает прочность границ зерен, замедляет диффузионные процессы выделения избыточных фаз по границам и в объеме зерен в процессе ползучести. Увеличение содержания бора более 0,05%, время до разрушения и длительная пластичность снижаются из-за образования крупных выделений фазы МЗ В2 или боросодержащей эвтектики по границам зерен.

50 Добавки 0,05-0,2% церия в предлагаемую сталь вводили для повышения ее технологической пластичности при высоких температурах пластической деформации (ковкой или прокаткой).

Введение в заявляемую сталь 14-16% хрома необходимо для повышения коррозионной стойкости, окалиностойкости и длительной прочности. При содержании хрома более 16% и никеля менее 5,5% сталь будет иметь пониженную пластичность из-за образования феррита и  $\sigma$ -фазы.

Для повышения стабильности аустенита, пластичности и ударной вязкости в процессе изготовления и длительной эксплуатации изделий при температурах до 650°C в заявляемой стали по сравнению со сталью-прототипом увеличено содержание аустенитообразующих элементов никеля и марганца до 5,5-7% и 16-19% соответственно и снижено количество до 0,3-0,9% сильного ферритообразующего элемента - алюминия.

Выполнение условия

$$\frac{[\text{Ni}] + 0,5[\text{Mn}] + 30[\text{C}]}{[\text{Cr}] + 0,5[\text{W}] + 1,5[\text{Si}] + 0,5[\text{Nb}]} = 0,8 \div 1,0$$

обеспечивает получение неферромагнитной стали. При уменьшении отношения менее 0,8 не удастся получить аустенитную структуру без ферромагнитных фаз (мартенсита и феррита).

После нагрева и охлаждения в интервале температур 1200°C ÷ -196°C, холодной и горячей пластической деформации со степенями обжатия до 70%, а также длительных тепловых выдержек в заявляемой стали не образуются ферромагнитные фазы (феррит и мартенсит) или хрупкие фазы (типа  $\sigma$ -фазы и карбидов  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ), т.е. сталь сохраняется немагнитной ( $\mu \leq 1,01$  гс/э) и имеет высокую пластичность.

Предлагаемая сталь не уступает по окалиностойкости и уровню прочности стали-прототипу и существенно превосходит по показателям пластичности и ударной вязкости при комнатной и повышенных температурах (таблица 2). Высокая стабильность аустенитной структуры стали обеспечивает практически постоянный уровень прочности, высокую пластичность при температурах до 700°C и незначительное снижение уровня ударной вязкости после длительных выдержек при температурах до 650°C. Высокая пластичность ( $\delta$  и  $\Psi > 70\%$ ) и ударная вязкость ( $\text{KCU} > 2,2$  МДж/м<sup>2</sup>) после закалки от температур 1000-1150°C этой стали обеспечивает получение различных видов кованных, прессованных, катаных полуфабрикатов и трубных заготовок. Химический состав и свойства стали, согласно изобретению и стали-прототипа приведены в таблице 1-4.

Использование заявляемой жаропрочной экономно легированной никелем стали со стабильной аустенитной структурой и высоким уровнем пластичности при температурах до 700°C позволяет:

1) по сравнению со сталью-прототипом разработать новые и усовершенствовать существующие конструкции с более высокими техническими характеристиками (по температуре, длительности эксплуатации и магнитной проницаемости);

2) по сравнению с применяющимися жаропрочными хромоникелевыми аустенитными сталями типа X18H12 и X16H13M3 снизить в 1,5-2 раза количество дефицитных элементов (никеля и молибдена) в результате изменения химического состава стали.

Таблица 1.

Химический состав стали - прототипа и заявляемой стали после закалки от 1100°C

Сталь	№ плавки	Химический состав, мас.%												Fe
		C	Cr	Mn	Ni	V	W	Al	B	Nb	Mo	Si	Ce	
Прототип	1	0.01	11	12	4.4	-	-	1.2	0.0005	-	0.4	≤0.6	0.01	остальное
	2	0.10	13	14	4.8	-	-	1.6	0.007	-	0.6	≤0.6	0.2	

Заявляемая	3	0.02	14	16.1	5.5	0.1	0.5	0.3	0.002	0.1	-	0.1	0.05	остальное
	4	0.03	14.7	16.9	6.2	0.17	0.6	0.8	0.007	0.1	-	0.2	0.1	
	5	0.06	16	18	7	0.21	0.9	0.9	0.05	0.2	-	0.4	0.2	

5

Таблица 2.

Механические свойства стали-прототипа и заявляемой стали после закалки от 1100°C.

Сталь	№ плавки	Механические свойства при температурах									
		20°C					700°C				
		$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\Psi$	KCU	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\Psi$	KCU
		МПа		%			МДЖ/ м <sup>2</sup>	МПа		%	
Прототип	1	570	240	61	68	2.3	270	110	31	37	1.2
	2	590	260	64	68	2.7	280	120	32	41	1.4
Заявляемая	3	608	275	71	74	3.2	280	125	55	56	2.3
	4	619	288	72	75	3.3	290	128	57	57	2.4
	5	631	297	74	76	3.3	300	130	59	58	2.4

10

15

Таблица 3.

Длительная прочность при разных температурах стали-прототипа и заявляемой стали после закалки от 1100°C.

Сталь	Температура испытания	Напряжение	Время до разрушения	Удлинение после испытания
	°C	МПа	час	%
Прототип	600	200	4806-5010	38-39
	650	200	29-31	42-42
	700	150	330-344	40-41
Заявляемая	600	200	8810-9100	48-49
	650	200	693-698	46-48
	700	150	461-467	45-46

20

25

Таблица 4.

Количество ферромагнитной фазы в стали-прототипе и заявляемой стали после различных режимов обработки.

Сталь	Режим обработки	Количество ферромагнитной фазы, %
Прототип	Нагрев при 1075°C, 2 часа, охлаждение-воздух	0
	Нагрев при 1075°C, 2 часа, охлаждение-воздух+прокатка $\epsilon=50\%$ при 20°C	21
Заявляемая	Нагрев при 1075°C, 2 часа, охлаждение-воздух	0
	Нагрев при 1250°C, 2 часа, охлаждение-воздух	0
	Нагрев при 1075°C, 2 часа, охлаждение-воздух+800°C, 10 час	0
	Нагрев при 1075°C, 2 часа, охлаждение-воздух+прокатка $\epsilon=50\%$ при 20°C	0
	Нагрев при 1075°C, 2 часа, охлаждение до -196°C	0

30

35

40

### Формула изобретения

1. Жаропрочная высокопластичная аустенитная сталь, содержащая углерод, хром, марганец, никель, алюминий, бор, церий, кремний, железо и неизбежные примеси, отличающаяся тем, она дополнительно содержит вольфрам, ванадий и ниобий при следующем соотношении компонентов, мас. %:

45

углерод	0,02-0,06
кремний	0,10-0,40
марганец	16-19
хром	14-16
никель	5,5-7,0
вольфрам	0,5-0,9
ванадий	0,1-0,2
ниобий	0,1-0,2

50

алюминий	0,3-0,9
церий	0,05-0,20
бор	0,002-0,050
железо и неизбежные примеси	остальное,

5

при этом выполняется условие:

$$\frac{[\text{Ni}] + 0,5[\text{Mn}] + 30[\text{C}]}{[\text{Cr}] + 0,5[\text{W}] + 1,5[\text{Si}] + 0,5[\text{Nb}]} = 0,8 \div 1,0$$

10

где [C], [Si], [Ni], [Mn], [Cr], [W], [Nb] - концентрации в стали углерода, кремния, никеля, марганца, хрома, вольфрама и ниобия соответственно, выраженные в мас.%, а отношение содержания  $\frac{\text{C}}{\text{V} + \text{Nb}}$  (мас.%) составляет 0,06÷0,20.

15

2. Сталь по п.1, отличающаяся тем, что она имеет развитую субзеренную структуру после горячей пластической деформации при температурах 900-1000°C с обжатием 50-70% и последующим охлаждением в воде до комнатной температуры.

3. Сталь по п.1 или 2, отличающаяся тем, что она имеет мелкозернистую структуру после закалки в воде от температуры 1030-1070°C.

20

4. Сталь по п.1 или 2, отличающаяся тем, что она используется при температурах до 700°C.

25

30

35

40

45

50