



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2005135956/02, 21.11.2005

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.11.2005

(45) Опубликовано: 27.07.2007 Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2205889 C1, 10.06.2003. JP 02-
205631 A, 15.08.1990. JP 02-057668 A,
27.02.1990. SU 1774966 A3, 07.11.1992. RU
2097442 C1, 27.11.1997. RU 2071988 C1,
20.01.1997.

Адрес для переписки:

119991, Москва, ГСП-1, Ленинский пр-кт, 49,
ИМЕТ РАН, директору института
Ю.К.Ковнеристому

(72) Автор(ы):

Блинов Виктор Михайлович (RU),
Банных Олег Александрович (RU),
Ильин Александр Анатольевич (RU),
Соколов Олег Георгиевич (RU),
Костина Мария Владимировна (RU),
Блинов Евгений Викторович (RU),
Ригина Людмила Георгиевна (RU),
Зверева Тамара Николаевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) ВЫСОКОПРОЧНАЯ И ВЫСОКОВЯЗКАЯ НЕМАГНИТНАЯ СВАРИВАЕМАЯ СТАЛЬ

(57) Реферат:

Высокопрочная высоковязкая немагнитная
свариваемая сталь может быть использована в
машиностроении, судостроении, буровой и
медицинской технике. Сталь содержит, мас. %:
углерод 0,04-0,09, кремний 0,1-0,6, хром 21,0-
23,0, марганец 14,0-16,0, никель 7,0-9,0,
молибден 1,0-2,0, азот 0,45-0,55, ванадий 0,1-
0,3, церий 0,001-0,030, кальций 0,005-0,010, бор
0,001-0,010, железо и неизбежные примеси -

остальное, при этом должны выполняться условия:
 $[Ni] + 0,1 \cdot [Mn] - 0,01 \cdot [Mn]^2 + 18[N] + 30[C] = 17 \div 22$ и $[Cr] +$
 $1,5[Mo] + 0,48[Si] + 2,3[V] = 23 \div 27$, $[C]/[N] = 0,09 - 0,15$,
где [Ni], [Mn], [N], [C], [Cr], [Mo], [V], [Si] -
концентрации в стали никеля, марганца, азота,
углерода, хрома, молибдена, ванадия и кремния
соответственно. Немагнитная сталь обладает
высокой прочностью, вязкостью с повышенной
стабильностью аустенита при 600-700°C. 1 з.п. ф-
лы, 2 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** (11) **2 303 648** (13) **C1**

(51) Int. Cl.

C22C 38/58 (2006.01)

C21D 1/18 (2006.01)

C21D 8/00 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2005135956/02, 21.11.2005**

(24) Effective date for property rights: **21.11.2005**

(45) Date of publication: **27.07.2007 Bull. 21**

Mail address:

**119991, Moskva, GSP-1, Leninskij pr-kt, 49,
IMET RAN, direktoru instituta Ju.K.Kovneristomu**

(72) Inventor(s):

**Blinov Viktor Mikhajlovich (RU),
Bannykh Oleg Aleksandrovich (RU),
Il'in Aleksandr Anatol'evich (RU),
Sokolov Oleg Georgievich (RU),
Kostina Marija Vladimirovna (RU),
Blinov Evgenij Viktorovich (RU),
Rigina Ljudmila Georgievna (RU),
Zvereva Tamara Nikolaevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) HIGH-STRENGTH AND HIGH-TOUGH NONMAGNETIC WELDABLE STEEL

(57) Abstract:

FIELD: ferrous metallurgy.

SUBSTANCE: invention proposes high-strength, high-tough, nonmagnetic weldable steel comprising the following components, wt.-%: carbon, 0.04-0.09; silicon, 0.1-0.6; chrome, 21.0-23.0; manganese, 14.0-16.0; nickel, 7.0-9.0; molybdenum, 1.0-2.0; nitrogen, 0.45-0.55; vanadium, 0.1-0.3; cerium, 0.001-0.0030; calcium, 0.005-0.010; boron, 0.001-0.010, and iron and imminent impurities, the balance. The following conditions must be accomplished: $[Ni] + 0.1 \times [Mn] - 0.01 \times [Mn]^2 + 18 [N] + 30 [C] = 17-22$ and $[Cr]$

$+ 1.5 [Mo] + 0.48 [Si] + 2.3 [V] = 23-27$, $[C]/[N] = 0.09-0.15$ wherein $[Ni]$, $[Mn]$, $[N]$, $[C]$, $[Cr]$, $[Mo]$, $[V]$ and $[Si]$ mean concentrations of nickel, manganese, nitrogen, carbon, chrome, molybdenum, vanadium and silicon in steel, respectively. Nonmagnetic steel possesses high strength, tenacity with enhanced stability of austenite at 600-700°C and can be used in machine engineering, ship building, drilling industry and medicinal technique.

EFFECT: improved and valuable properties of steel.

2 cl, 2 tbl

Изобретение относится к области металлургии и может быть использовано в машиностроении, приборостроении, специальном судостроении и для создания высокоэффективной буровой техники.

Известна коррозионно-стойкая немагнитная сталь, содержащая 0,03% углерода, 0,4÷0,6% азота, 23÷25% хрома, 5÷7% марганца, 16÷18% никеля и 4÷5% молибдена [High Nitrogen Steels - 90, Aachen, 1990, p.155]. Основным недостатком этой стали является низкая прочность, плохая свариваемость и высокое содержание дорогих и дефицитных никеля и молибдена.

Наиболее близким аналогом для предложенной стали является сталь [RU, 2205889 C1, C22C 38/58, 10.06.2003], содержащая (мас.%): углерод - 0,04-0,90, кремний - 0,10-0,60, марганец - 5,0-12,0, хром-19-21, никель - 4,5-9,0, молибден - 0,5-1,5, ванадий - 0,10-0,55, кальций - 0,005-0,010, ниобий - 0,03-0,30, азот - 0,40-0,70, неизбежные примеси и железо - остальное, при том, что отношение содержания углерода к содержанию азота равно 0,05-0,15 и выполняется соотношение:

$$\frac{[Ni] + 0,1[Mn] - 0,01[Mn]^2 + 18[N] + [C]}{[Cr] + 1,5[Mo] + 0,48[Si] + 2,3[V] + 1,75[Nb]} = 0,70 \div 0,90,$$

где [N], [C], [Si], [Mn], [Ni], [Cr], [Mo], [V], [Nb] - концентрация в стали азота, углерода, кремния, марганца, никеля, хрома, молибдена, ванадия и ниобия (мас.%). Недостатком данной стали является отсутствие церия в количестве 0,001-0,030%, который позволил бы улучшить морфологию неметаллических включений, что способствовало бы повышению пластичности и технологичности стали. Кроме того, в этой стали отсутствует бор в количестве до 0,010%, который в таком количестве резко измельчает зерно. Наличия в стали-аналоге 5-12% марганца недостаточно для стабильности аустенита при температурах 600-700°C, при которых из этого аустенита выделяются нитриды хрома, охрупчивающие сталь.

Технический результат - получение высокопрочной и высоковязкой немагнитной, коррозионно-стойкой, мелкозернистой свариваемой стали, с повышенной стабильностью аустенита при температурах 600-700°C. Этот результат достигается тем, что в высокопрочную немагнитную коррозионно-стойкую свариваемую сталь, содержащую углерод, кремний, марганец, хром, никель, молибден, азот, ванадий, кальций, железо и неизбежные примеси дополнительно вводят церий и бор при следующем соотношении компонентов:

углерод	0,04÷0,09
кремний	0,1÷0,6
хром	21,0÷23,0
марганец	14,0÷16,0
никель	7,0÷9,0
молибден	1,0÷2,0
азот	0,45÷0,55
ванадий	0,1÷0,3
церий	0,001÷0,030
кальций	0,005÷0,010
бор	0,001÷0,010
железо и неизбежные примеси	остальное

при этом для значений концентраций легирующих элементов выполняется условие: $[Ni] + 0,1[Mn] - 0,01 \cdot [Mn]^2 + 18[N] + 30[C] = 17 \div 22$ и $[Cr] + 1,5[Mo] + 0,48[Si] + 2,3[V] = 23 \div 27$, где [C], [N], [Mn] и [Ni] - концентрации углерода, азота, марганца и никеля, выраженные в мас.%, а отношение содержания углерода к содержанию азота равно 0,09÷0,15, причем сталь обладает мелкозернистой структурой с размером зерна 20÷40 мкм в результате закалки от температуры 1100÷1150°C со скоростью 200÷400°/мин после пластической деформации при температуре 1050÷1150°C. Для получения высокой прочности и удовлетворительной

вязкости основного металла и сварных соединений химический состав стали должен обеспечить: высокую растворимость азота в жидком металле и кристаллизацию без образования δ -феррита, определяющую высокое содержание азота в γ твердом растворе; стабилизацию аустенита сварного шва и основного металла по отношению к γ - α , $\gamma \rightarrow \sigma$, $\gamma \rightarrow \epsilon$

5 превращениям; формирование структуры с малым количеством нитридов (для измельчения аустенитного зерна) без карбидов типа Me_{23}C_6 в основном металле и δ -феррита в сварном шве. Содержание в стали углерода - 0.04% и азота - 0.45% в минимальных указанных количествах достаточно для обеспечения высокой прочности сварного шва и основного металла. При содержании углерода более 0.09% и азота более 10 0.55% трудно получить послековки и закалки удовлетворительные показатели пластической и ударной вязкости из-за образования при охлаждении карбидов типа Me_{23}C_6 и нитридов хрома Cr_2N . Для предотвращения образования карбидов типа Me_{23}C_6 отношение содержания углерода к азоту не должно превышать 0,15. Введение в сталь хрома в количестве 21-23% необходимо для обеспечения требуемого уровня коррозионной 15 стойкости и растворимости азота в указанных пределах. При содержании хрома более 23% и никеля менее 7% сталь будет иметь пониженную пластичность из-за образования феррита и σ фазы. С увеличением содержания никеля более 9% невозможно получить сталь с заданным количеством азота. Содержание марганца на уровне 14-16% обеспечивает стабильность аустенита по отношению к γ - α превращению, повысит 20 растворимость азота. Введение в сталь ванадия в количестве 0.1-0.3% обеспечивает мелкозернистую структуру и повышение прочности вследствие образования мелкодисперсных нитридов ванадия, при меньших количествах ванадия эффект от его введения незначителен. Введение его в количестве больше 0.30% - приводит к снижению прочности из-за обеднения твердого раствора азотом в результате образования 25 термически устойчивых нитридов ванадия, растворяющихся в аустените при температуре выше 1150°C. При содержании молибдена более 2% в металле может образоваться ферромагнитная фаза (δ -феррит). Добавки кальция в количестве 0.005-0.01% и церия в количестве 0.001-0.030%, улучшая морфологию неметаллических включений, повышают 30 пластичность металла и его технологичность, особенно обрабатываемость резанием. Если содержание кальция и церия в металле меньше 0.005 и 0.001% соответственно - значительного эффекта от их введения не наблюдается. При увеличении содержания Са более 0.01% и Се более 0.030% дальнейшего улучшения свойств не отмечается. Введение бора в количестве до 0.010% приводит к измельчению зерна, а при увеличении его содержания выше 0.01% может привести к ухудшению пластических свойств и 35 технологичности в процессе пластической деформации. Выполнение условий: $\text{Ni} + 0,1 \cdot [\text{Mn}] - 0,01 \cdot [\text{Mn}]^2 + 18[\text{N}] + 30[\text{C}] = 17 \div 22$ и $[\text{Cr}] + 1,5[\text{Mo}] + 0,48[\text{Si}] + 2,3[\text{V}] = 23 \div 27$ - обеспечивает получение немагнитной структуры ($\mu < 1,01$ Гс/э), если $\text{Ni} + 0,1 \cdot [\text{Mn}] - 0,01 \cdot [\text{Mn}]^2 + 18[\text{N}] + 30[\text{C}] > 22$ и $[\text{Cr}] + 1,5[\text{Mo}] + 0,48[\text{Si}] + 2,3[\text{V}] < 23$, то не достигается необходимый уровень 40 растворимости азота, а если $\text{Ni} + (0,1 [\text{Mn}] - 0,01 \cdot [\text{Mn}]^2 + 18[\text{N}] + 30[\text{C}]) < 17$ и $[\text{Cr}] + 1,5[\text{Mo}] + 0,48[\text{Si}] + 2,3[\text{V}] > 27$ не удастся получить аустенитную структуру без мартенсита и феррита.

Аустенит с развитой мелкозернистой структурой, т.е. с размером зерна 20-40 мкм можно получить только при закалке со скоростью 200-400°C/мин от температуры 1100-1150°C или после пластической деформации при температуре 1050-1150°C. Пластическая 45 деформация при температурах ниже 1050°C снижает пластичность и ударную вязкость и затрудняет процесс получения качественных изделий. Пластическая деформация при температурах выше 1150°C повышает уровень затраты энергии на нагрев, кроме того, может увеличиться размер зерна аустенита в результате растворения мелкодисперсных нитридов ванадия. Нагрев под закалку в интервале 1100-1150°C достаточен для 50 растворения нитридов хрома при сохранении мелкозернистой структуры. При температуре нагрева под закалку менее 1100°C не достигается полное растворение нитридов хрома, ухудшается вязкость и пластичность стали. При температуре выше 1150°C - начинают растворяться нитриды ванадия, что приводит к укрупнению зерна аустенита. Пример:

сталь выплавляли в открытой индукционной печи емкостью 0,5 т и разливали на электроды диаметром 250 мм. Поверхность электродов зачищали и готовили к электрошлаковому переплаву в кристаллизаторе диаметром 320 мм. Слитки Ø320 мм нагревали и ковали на штанги со стороной 80 мм, массой по 220 кг и шайбы Ø205 и 100 мм, массой по 180 кг.

Химический состав выплавленной стали приведен в таблице 1. Металл был подвергнут термической обработке по режиму:

1. нагрев до 1100°C с выдержкой 2 часа и охлаждение со скоростью 400°C/мин.
2. нагрев до 1150°C с выдержкой 2 часа и охлаждение со скоростью 300°C/мин.
3. нагрев до 1120°C с выдержкой 2 часа и охлаждение со скоростью 200°C/мин.

Металл прошел контроль макро- и микроструктуры, механических свойств. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Структуру металла определяли на рентгеновском дифрактометре, механические испытания проводили на машине Инстрон 1185. По результатам испытаний видно, что предлагаемая сталь обладает более высокими показателями пластичности и ударной вязкости при сохранении повышенной прочности. Предлагаемая сталь, содержащая бор (0,002-0,008%), после закалки от 1100-1150°C имеет меньший размер зерна. Исследование микроструктуры предлагаемой стали, содержащей церий (0,003-0,008%), показало, что в этой стали, по сравнению со сталью-прототипом, присутствует меньшее количество неметаллических включений. Соответственно, при горячей деформации слитков выход годного металла повысился 17-22%. Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки. Она обладает высокой коррозионной стойкостью в 3% растворе NaCl. Скорость коррозии основного металла и сварного соединения при температуре 40°C в течение 400 часов составила 0.0007-0.0009 мм/год.

Таким образом, предлагаемая сталь может быть использована в качестве высокопрочного высоковязкого коррозионно-стойкого свариваемого материала. Сталь приобретает мелкозернистую структуру с размером зерна 20-40 мкм в результате закалки со скоростью охлаждения 200-400°C/мин от 1100-1150°C после пластической деформации при температуре 1050-1150°C.

Таблица 1. Химический состав заявляемой стали.

Сталь	Содержание элементов, %														
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Nb	Ca	Ce	N	B	S	P	C/N
Заданный состав	0.04	0.1	14.0	21.0	7.0	1.0	0.1	-	0.005	0.001	0.45	0.01	н.б.	н.б.	0,09-0,15
	0.09	0.6	16.0	23.0	9.0	2.0	0.3	-	0.01	0.030	0.55	0.001	0.015	0.020	
Полученный состав	0.045	0.25	14.8	21.5	7.03	1.8	0.15	-	0.008	0.003	0.46	0.002	0.005	0.015	0,10
	0.050	0.30	15.8	22.8	8.03	1.91	0.14	-	0.007	0.005	0.50	0.005	0.006	0.001	0,10
	0.062	0.27	14.7	22.6	8.09	1.91	0.25	-	0.009	0.008	0.55	0.008	0.005	0.010	0,11
Прототип	0.04	0.26	11,7	19,9	5,6	1,5	0,37	0,27	0.006	-	0,51	-	0,004	0,017	0,08

Таблица 2. Механические свойства стали.

Сталь	Температура закалки, °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCV МДж/см ²	Средний размер зерна, мкм	μ , Гс/э
Заявляемая	1100	832	485	53	82	>3.75	22	1.003
	1150	856	492	54	81	>3.75	25	1.003
	1120	857	500	54	85	>3.75	23	1.004
Прототип	1100	995	590	46	70	2,20	35	1.004
	1150	992	589	47	72	2,21	37	1.003
	1120	994	591	46	71	2,21	36	1.004

Формула изобретения

1. Высокопрочная и высоковязкая немагнитная свариваемая сталь, содержащая углерод, кремний, марганец, хром, никель, азот, молибден, церий, кальций, железо и неизбежные примеси, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит ванадий и бор

при следующем соотношении компонентов, мас. %:

5	углерод	0,04-0,09
	кремний	0,1-0,6
	хром	21,0-23,0
	марганец	14,0-16,0
	никель	7,0-9,0
10	молибден	1,0-2,0
	азот	0,45-0,55
	ванадий	0,1-0,3
	церий	0,001-0,030
	кальций	0,005-0,010
	бор	0,001-0,010
	железо и неизбежные примеси	остальное,

при этом должны выполняться условия:

$$[\text{Ni}] + 0,1 \cdot [\text{Mn}] - 0,01 \cdot [\text{Mn}]^2 + 18[\text{N}] + 30[\text{C}] = 17 \div 22 \text{ и}$$

$$[\text{Cr}] + 1,5[\text{Mo}] + 0,48[\text{Si}] + 2,3[\text{V}] = 23 \div 27,$$

$$[\text{C}]/[\text{N}] = 0,09 - 0,15,$$

где [Ni], [Mn], [N], [C], [Cr], [Mo], [V], [Si] - концентрации в стали никеля, марганца, азота, углерода, хрома, молибдена, ванадия и кремния соответственно, выраженные в мас. %.

2. Сталь по п.1, отличающаяся тем, что после закалки от температуры 1100÷1150°C со скоростью охлаждения 200÷400°/мин и/или пластической деформации при температуре 1050÷1150°C сталь имеет мелкозернистую структуру с размером зерна 20÷40 мкм.