



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21), (22) Заявка: **2008147276/02**, **02.12.2008**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.12.2008(45) Опубликовано: **20.09.2009** Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2205889 C1**, **10.06.2003**. **RU 2158319**
C1, **27.10.2000**. **RU 2303648 C1**, **27.07.2007**. **RU**
2097442 C1, **27.11.1997**. **SU 1700093 A1**,
23.12.1991. **SU 1595936 A1**, **30.09.1990**. **JP 02-**
104633 A, **17.04.1990**. **JP 62-103348 A**,
13.05.1987. **JP 61-084324 A**, **28.04.1986**. **JP 61-**
037953 A, **22.02.1986**. **JP 55-110757 A**,
26.08.1980. **JP 54-081119 A**, **28.06.1979**.

Адрес для переписки:
119991, Москва, ГСП-1, Ленинский пр-кт, 49,
Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова Российской академии наук
(ИМЕТ РАН)

(72) Автор(ы):

Блинов Виктор Михайлович (RU),
Банных Игорь Олегович (RU),
Блинов Евгений Викторович (RU),
Зверева Тамара Николаевна (RU),
Бецофен Сергей Яковлевич (RU),
Ригина Людмила Георгиевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) ВЫСОКОПРОЧНАЯ НЕМАГНИТНАЯ КОРРОЗИОННО-СТОЙКАЯ СТАЛЬ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к составу высокопрочной немагнитной и коррозионно-стойкой стали, используемой в машиностроении, приборостроении, специальном судостроении и для создания высокоэффективной буровой техники. Сталь содержит углерод, кремний, марганец, хром, никель, азот, молибден, ванадий, кальций, селен, железо и неизбежные примеси, при следующем соотношении компонентов, мас. %: углерод 0,04-0,08, кремний 0,10-0,40, марганец 9,0-11,0, хром 20,0-21,0, никель 2,8-3,8, молибден 0,7-1,2, ванадий 0,15-0,25, кальций 0,005-0,010, селен 0,10-0,15, азот 0,5-0,55, железо и неизбежные примеси - остальное. Отношение концентрации углерода к содержанию азота составляет 0,07÷0,14,

отношение содержаний

$(Cr+2Mo+4V)/(C+N)=35\div 41$, а для значений концентраций легирующих элементов выполняется условие:

$[Ni]+0,1[Mn]+0,01[Mn]^2+18[N]+30[C]/[Cr]+1,5$
 $[Mo]+0,48[Si]+2,3[V]=0,62\div 0,86$, где [N], [C], [Si], [Mn], [Cr], [Mo], [V] - концентрации в стали азота, углерода, кремний, марганца, хрома, молибдена и ванадия соответственно. Сталь имеет развитую субзеренную структуру после горячей пластической деформации при температуре 1000÷1050°C с обжатием 50÷80% и последующим охлаждением в воде до комнатной температуры и мелкозернистую аустенитную структуру после закалки в воде от температуры 1030÷1070°C. Повышаются прочностные характеристики и коррозионная стойкость. 2 з.п. ф-лы, 3 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2008147276/02, 02.12.2008**

(24) Effective date for property rights:
02.12.2008

(45) Date of publication: **20.09.2009 Bull. 26**

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Blinov Viktor Mikhajlovich (RU),
Bannykh Igor' Olegovich (RU),
Blinov Evgenij Viktorovich (RU),
Zvereva Tamara Nikolaevna (RU),
Betsofen Sergej Jakovlevich (RU),
Rigina Ljudmila Georgievna (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) HIGH-STRENGTH NON-MAGNETIC CORROSION-PROOF STEEL

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: steel contains carbon, silicon, manganese, chrome, nickel, nitrogen, molybdenum, vanadium, calcium, selenium, iron and unavoidable admixtures, at following correlation of components, wt %: carbon 0.04-0.08, silicon 0.10-0.40, manganese 9.0-11.0, chrome 20.0-21.0, nickel 2.8-3.8, molybdenum 0.7-1.2, vanadium 0.15-0.25, calcium 0.005-0.010, selenium 0.10-0.15, nitrogen 0.5-0.55, iron and unavoidable admixtures are the rest. Correlation of carbon concentration to content of nitrogen is 0.07-0.14, correlation of contents $(Cr+2Mo+4V)/(C+N)=35\div41$, and for meanings of concentrations of alloying elements it is met the

conditions: $[Ni]+0.1[Mnt]+0.01[Mn]^2+18[N]+30[C]/[Cr]+1.5[Mo]+0.48[Si]+2.3[V]=0.62\div0.86$, where [N], [C], [Si], [Mn], [Cr], [Mo], [V] - concentrations in steel of nitrogen, carbon, silicon, manganese, chrome, molybdenum and vanadium accordingly. Steel allows developed subgrain structure after hot plastic deformation at temperature $1000\div1050^\circ\text{C}$ with clamping $50\div80\%$ and following cooling in water up to room temperature and fine-grained austenitic structure after hardening in water from the temperature $1030\div1070^\circ\text{C}$.

EFFECT: there are increased strength characteristics and corrosion resistance.

3 cl, 2 tbl

RU 2 367 710 C1

RU 2 367 710 C1

Изобретение относится к области металлургии стали 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 (сталь марки 1.4565S, Материалы конференции «High Nitrogen Steels 90», Aachen, 1990, р.155). Основным недостатком этой стали является низкая прочность, плохая свариваемость и высокое содержание дорогих и дефицитных никеля и молибдена.

Наиболее близким аналогом к предлагаемому техническому решению является сталь 07X21Г7АН5 (см. А.А.Бабаков, М.В.Приданцев. «Коррозионно-стойкие стали и сплавы». М.: Металлургия, 1971, с.168, ЧМТУ 393-60, ЦНИИЧМ), содержащая 0,05-0,10% углерода, до 0,7% кремния, 0,15÷0,25% азота, 20÷22% хрома, 6÷8% марганца, 5÷6% никеля, железо и неизбежные примеси, такие как сера и фосфор. Однако эта сталь обладает недостаточным уровнем прочностных свойств ($\sigma_B=700$ МПа; $\sigma_{0,2}=400$ МПа) для высоконагруженных деталей, а также наличием ферромагнитного δ -феррита в структуре стали, которые недопустимы для немагнитных изделий, при содержании аустенитообразующих элементов на нижнем пределе марочного состава.

Задача, на решение которой направлено настоящее изобретение, заключается в создании высокопрочной немагнитной коррозионно-стойкой стали.

Технический результат изобретения заключается в повышении прочностных характеристик, коррозионной стойкости и немагнитности стали.

Технический результат достигается тем, что в высокопрочную немагнитную сталь, содержащую углерод, кремний, марганец, хром, никель, азот, железо и неизбежные примеси дополнительно введены молибден, ванадий, селен и кальций, (см. табл.А при следующем соотношении компонентов, мас.%).

Таблица А			
углерод	0.04-0.08	молибден	0.7-1.2
кремний	0.10-0.40	ванадий	0.15-0.25
марганец	9.0-11.0	кальций	0.005-0.010
хром	20.0-21.0	селен	0.10-0.15
никель	2.8-3.8	азот	0.5-0.55

неизбежные примеси и железо - стальное,

при этом для значений концентраций легирующих элементов выполняется условие:

$$а) \frac{[Ni] + 0,1[Mn] + 0,01[Mn]^2 + 18[N] + 30[C]}{[Cr] + 1,5[Mo] + 0,48[Si] + 2,3[V]} = 0,62 \div 0,86,$$

где [N], [C], [Si], [Mn], [Ni], [Cr], [Mo], [V] - концентрация в стали азота, углерода, кремния, марганца, никеля, хрома, молибдена и ванадия соответственно, выраженная в массовых процентах,

б) соотношение содержания углерода к содержанию азота (мас.%) должно быть в пределах - 0,07÷0,14,

$$в) \text{соотношение содержания } \frac{Cr + 2Mo + 4V}{C + N} \text{ (мас.%) должно быть в пределах } 35 \div 41,$$

при этом в ней формируется развитая субзеренная структура в процессе горячей пластической деформации при температурах 1000÷1050°C с обжатием 50÷80% и последующим охлаждением в воде до комнатной температуры, и сталь приобретает мелкозернистую аустенитную структуру после закалки в воде от температуры в пределах 1030÷1070°C.

Содержание в стали углерода [C]=0,04 и азота [N]=0,5 в минимальных указанных количествах достаточно для обеспечения высокой прочности основного металла. При содержании углерода более 0,08% и азота более 0,55% соответственно, трудно получить удовлетворительные показатели пластичности и ударной вязкости из-за образования при тепловых выдержках большого количества карбида хрома типа Cr_{23}C_6 и нитридов хрома типа Cr_2N . В этом случае трудно получить не имеющий пор металл без использования повышенного давления азота под расплавом из-за ограниченной растворимости азота в металле такого состава. Для предотвращения образования карбидов хрома типа Cr_{23}C_6 отношение содержания углерода к содержанию азота не должно превышать 0,15. Введение в сталь 20-21% хрома необходимо для обеспечения требуемого уровня коррозионной стойкости и растворимости азота в указанных пределах. При содержании хрома более 21% и никеля менее 2,8% - сталь будет иметь пониженную пластичность из-за образования феррита и σ -фазы.

Выполнение условия $\frac{\text{Cr} + 2\text{Mo} + 4\text{V}}{\text{C} + \text{N}} = 35 \div 41$ обеспечивает предотвращение

образования σ -фазы в структуре стали.

С увеличением содержания никеля более 3,8% - из-за снижения растворимости азота в металле невозможно получить сталь с заданным количеством азота. Получение содержания марганца на уровне 9-11% обеспечивает стабильность аустенита по отношению к $\gamma \rightarrow \alpha(\text{M})$ превращению, повышает растворимость азота и способствует раскислению металла. Введение в сталь ванадия в количестве более 0,15% обеспечивает мелкозернистую структуру и повышение прочности (за счет образования мелкодисперсных нитридов ванадия. При меньших концентрациях ванадия положительный эффект от его введения незначителен. Увеличение содержания ванадия более 0,25% приводит к снижению прочности металла из-за обеднения твердого раствора азотом в результате образования термически устойчивых нитридов ванадия, диссоциирующих в аустените при температурах выше 1150°C. При содержании молибдена более 1,2% в металле может образовываться ферромагнитная фаза (δ -феррит). Добавки кальция и селена в количествах соответственно 0,005-0,010 и 0,10-0,15% улучшая морфологию неметаллических включений, повышают пластичность металла и его технологичность, особенно обрабатываемость резанием. Если кальция и селена в металле меньше соответственно 0,005 и 0,10% - значительного эффекта от их введения не обеспечивается, при увеличении их содержания более соответственно 0,010 и 0,15% дальнейшего улучшения свойств не достигается.

Выполнение условия:

$$\frac{[\text{Ni}] + 0,1[\text{Mn}] + 0,01[\text{Mn}]^2 + 18[\text{N}] + 30[\text{C}]}{[\text{Cr}] + 1,5[\text{Mo}] + 0,48[\text{Si}] + 2,3[\text{V}]} = 0,62 \div 0,86$$

обеспечивает получение неферромагнитной стали ($\mu < 1,01$ Гс/Э). При уменьшении значений отношения менее 0,62 не удастся получить аустенитную структуру без ферромагнитных фаз (мартенсита и феррита). При значении отношения более 0,86 в стали не достигается необходимый уровень растворимости азота. Аустенит с развитой субзеренной структурой в предлагаемой стали можно получить в результате горячей пластической деформации (ковки или прокатки) при температурах 1000-1050°C с обжатием 50÷80% и последующим охлаждением в воде до комнатной температуры. Пластическая деформация при температурах ниже 1000°C снижает пластичность и ударную вязкость стали и затрудняет процесс получения качественных изделий из-за высокого сопротивления металла пластическому деформированию. Наилучшее

сочетание прочностных и пластических свойств стали достигается при обжатии 50÷80%. Обжатия менее 50% не обеспечивают требуемый уровень прочностных свойств, а обжатия более 80% приводят к значительному снижению пластичности. Высокая скорость охлаждения в воде от температуры закалки предотвращает образование в объеме металла нитридных фаз, снижающих пластичность стали, и ферромагнитной фазы - мартенсита.

Нагрев под закалку до температур 1030÷1070°C достаточен для растворения нитридов хрома при сохранении мелкозернистой структуры из-за наличия небольшого количества трудно растворимых частиц нитридов ванадия. При температуре нагрева под закалку менее 1030°C не достигается полное растворение нитридов, ухудшается вязкость и пластичность стали. При температурах нагрева под закалку выше 1070°C увеличиваются размеры зерен аустенита в результате интенсивного растворения нитридов ванадия.

Сталь выплавляли в открытой индукционной печи емкостью 50 кг. При температуре 1050°C металл ковали на прутки 13×13 мм. Структуру металла определяли на рентгеновском дифрактометре. Механические испытания проводили на машине Инстрон-1185.

После испытаний сталь имела следующие значения ($\sigma_b=874$ МПа; $\sigma_{0,2}=495$ МПа; $\delta=57\%$; $\Psi=69,3\%$), результаты химического анализа предлагаемой стали и прототипа, а также результаты испытаний приведены в таблицах 1 и 2.

Химический состав стали. Таблица 1.

Сталь	№ плавки	Содержание элементов											
		N	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Ca	S	P	Se
Прототип	1	0.2	0.06	0.5	7.0	21.5	5.5	-	-	-	0.015	0.020	-
Предлагаемая	2	0.5	0.04	0.1	9.0	19.1	3.18	0.7	0.10	0.005	0.015	0.014	0.10
	3	0.51	0.04	0.26	10.7	19.9	2.9	0.9	0.17	0.006	0.004	0.017	0.11
	4	0.55	0.09	0.4	11.0	21.0	3.8	1.2	0.25	0.010	0.017	0.020	0.15

Механические свойства и магнитная проницаемость стали. Таблица 2.

Сталь	№плавки	Обработка	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²	μ , Гс/Э
Прототип	1	Закалка от 1050°C	700	400	25	62	2,8	1,003
	2	Закалка от 1050°C	874	495	57,0	69,3	2,98	1,003
Предлагаемая		Ковка при 1050°C	1086	935	31,9	53,1	1,27	1,004
	3	Ковка при 1050°C	1106	961	31,2	52,4	1,25	1,014
	4	Ковка при 1050°C	1135	986	30,0	51,3	1,19	1,007

Формула изобретения

1. Высокопрочная немагнитная коррозионно-стойкая сталь, содержащая углерод, кремний, марганец, хром, никель, азот, железо и неизбежные примеси, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит молибден, ванадий, кальций и селен при следующем соотношении компонентов, мас. %:

углерод	0,04-0,08
кремний	0,10-0,40
марганец	9,0-11,0
хром	20,0-21,0
никель	2,8-3,8

молибден	0,7-1,2
ванадий	0,15-0,25
кальций	0,005-0,010
селен	0,10-0,15
азот	0,5-0,55
железо и неизбежные примеси	остальное

при этом для значений концентраций легирующих элементов выполняется условие

$$\frac{[Ni] + 0,1[Mn] + 0,01[Mn]^2 + 18[N] + 30[C]}{[Cr] + 1,5[Mo] + 0,48[Si] + 2,3[V]} = 0,62 \div 0,86,$$

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

отношение концентрации углерода к содержанию азота составляет $0,07 \div 0,14$, а

отношение содержания $\frac{Cr + 2Mo + 4V}{C + N}$ в мас.% составляет $35 \div 41$.

2. Сталь по п.1, отличающаяся тем, что она имеет развитую субзеренную структуру после горячей пластической деформации при температуре $1000 \div 1050^\circ\text{C}$ с обжатиюм $50 \div 80\%$ и последующим охлаждением в воде до комнатной температуры.

3. Сталь по п.1 или 2, отличающаяся тем, что она имеет мелкозернистую аустенитную структуру после закалки в воде от температуры $1030 \div 1070^\circ\text{C}$.