



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2005135954/02, 21.11.2005

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
21.11.2005

(43) Дата публикации заявки: 27.05.2007

(45) Опубликовано: 27.02.2008 Бюл. № 6

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: JP 2001-300730 A, 30.10.2001. RU  
2215815 C1, 10.11.2003. RU 2214474 C2,  
20.10.2003. RU 2275439 C2, 10.03.2005. US  
5512237 A, 30.04.1996.

Адрес для переписки:

119991, Москва, ГСП-1, Ленинский пр-кт, 49,  
ИМЕТ РАН, Зам.директора В.Т.Заболотному

(72) Автор(ы):

Баннх Олег Александрович (RU),  
Ковнеристый Юлий Константинович (RU),  
Каблов Евгений Николаевич (RU),  
Блинов Виктор Михайлович (RU),  
Воробьев Игорь Андреевич (RU),  
Афанасьев Игорь Андреевич (RU),  
Шалькевич Андрей Борисович (RU),  
Вознесенская Наталья Михайловна (RU),  
Костина Мария Владимировна (RU),  
Буцкий Евгений Владимирович (RU),  
Сидорина Татьяна Николаевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Институт металлургии и материаловедения им.  
А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ  
РАН) (RU),  
Федеральное государственное унитарное  
предприятие "Всероссийский научно-  
исследовательский институт авиационных  
материалов" (ФГУП "ВИАМ") (RU)

## (54) ВЫСОКОПРОЧНАЯ КОРРОЗИОННО-СТОЙКАЯ СТАЛЬ

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии стали, в частности к области легированных коррозионно-стойких высокопрочных сталей, используемых для высоконагруженных деталей в машиностроении и судостроении. Заявлена сталь, содержащая, мас. %: углерод 0,04-0,07, кремний не более 0,6, хром 15,5-16,5, никель 4,8-5,8, азот 0,11-0,18, ниобий 0,03-0,08, ванадий 0,03-0,08, марганец 0,5-1,0, кальций 0,02-0,03, железо и неизбежные примеси остальное, при выполнении условий  $([V]+[Nb])/([C]+[N])=0,4\div 0,6$  и  $[Cr]-1,5[Ni]+2[Si]-0,75$

$[Mn]-30[C+N]+1,5[V]+0,9[Nb]=1\div 4$ . После закалки и/или пластической деформации с последующем обработкой холодом, отпуска или холодной пластической деформации сталь обладает мелкозернистой структурой с размером зерна 15-25 мкм с количеством мартенсита 75-90% и аустенита 25-10%. Достигается повышение прочности при сохранении удовлетворительной пластичности, что обеспечивает повышение эксплуатационной надежности и увеличение срока службы конструкций из этой стали при их эксплуатации. 4 з.п. ф-лы, 2 табл.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2005135954/02**, 21.11.2005(24) Effective date for property rights: **21.11.2005**(43) Application published: **27.05.2007**(45) Date of publication: **27.02.2008 Bull. 6**

Mail address:

**119991, Moskva, GSP-1, Leninskij pr-kt, 49,  
IMET RAN, Zam.direktora V.T.Zabolotnomu**

(72) Inventor(s):

**Bannykh Oleg Aleksandrovich (RU),  
Kovneristyj Julij Konstantinovich (RU),  
Kablov Evgenij Nikolaevich (RU),  
Blinov Viktor Mikhajlovich (RU),  
Vorob'ev Igor' Andreevich (RU),  
Afanas'ev Igor' Andreevich (RU),  
Shal'kevich Andrej Borisovich (RU),  
Voznesenskaja Natal'ja Mikhajlovna (RU),  
Kostina Marija Vladimirovna (RU),  
Butskij Evgenij Vladimirovich (RU),  
Sidorina Tat'jana Nikolaevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Institut metallurgii i materialovedenija im.  
A.A. Bajkova Rossijskoj akademii nauk (IMET  
RAN) (RU),  
Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe  
predprijatje "Vserossijskij nauchno-  
issledovatel'skij institut aviacionnykh  
materialov" (FGUP "VIAM") (RU)**

**(54) HIGH-STRENGTH CORROSION-RESISTANT STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: ferrous metallurgy industry; mechanical engineering industry; shipbuilding industry; production of the high-strength corrosion-resistant steels.

SUBSTANCE: the invention is pertaining to the steel metallurgy, in particular, to the field of production of the high-strength corrosion-resistant alloyed steels used for production of the high-loaded details in the mechanical engineering industry and shipbuilding. The invention presents the steel containing(in mass %): carbon - 0.04-0.07, silicon - no more than 0.6, chromium - 15.5-16.5, nickel - 4.8-5.8, nitrogen - 0.11-0.18, niobium - 0.03-0.08, vanadium - 0.03-0.08, manganese - 0.5-1.0, calcium - 0.02-0.03, iron and the imminent impurities - the rest; at fulfillment of the following conditions:  $\frac{([V]+[Nb])}{([C]+[N])} = 0.4 \div 0.6$

and  $[Cr]-1.5[Ni]+2[Si]-0.75[Mn]-30[C+N]+1.5[V]+0.9[Nb]=1 \div 4$ . After the tempering and-or the plastic deformation with the subsequent cold treatment, tempering or the cold plastic deformation the steel has the fine-grain structure with the grain size of 15-25 microns and content of the martensite of 75-90 % and the austenite - of 25-10 %. The invention allows to attain the improved strength at conservation of the satisfactory pliability, that ensures the increase of the operational reliability and the service life of constructions made out of this steel at their operation.

EFFECT: the invention ensures the improved strength at conservation of the satisfactory pliability, the increased operational reliability and the service life of constructions made out of this steel at their operation.

5 cl, 2 tbl

Изобретение относится к металлургии стали, в частности к высокопрочным коррозионно-стойким сталям мартенситно-аустенитного класса, упрочняемых азотом, обладающими наряду с высокой прочностью повышенными значениями пластичности.

Сталь предназначена для изготовления высоконагруженных деталей машин, работающих при температурах  $-70 \div +400^\circ\text{C}$ .

Известна коррозионно-стойкая хромоникелевая сталь 14X17H2 (ГОСТ 5632-72) следующего химического состава, мас. %:

|    |         |            |
|----|---------|------------|
|    | углерод | 0,11-0,17  |
|    | хром    | 16,0-18,0  |
| 10 | никель  | 1,5-2,5    |
|    | титан   | $\leq 0,2$ |
|    | железо  | остальное  |

Основными недостатками этой стали являются низкая прочность ( $\sigma_B < 1100$  МПа,  $\sigma_{0,2} < 900$  МПа) и склонность к отпускной хрупкости.

Известна хромоникелевая сталь 25X13H2 (ГОСТ 5632-72) следующего химического состава, мас. %:

|    |         |            |
|----|---------|------------|
|    | углерод | 0,2-0,3    |
|    | хром    | 12-14      |
|    | никель  | 1,5-2,0    |
| 20 | титан   | $\leq 0,2$ |
|    | железо  | остальное  |

Недостатком данной стали является низкая пластичность ( $\delta = 3-7\%$ ).

Наиболее близкой к заявляемой по химическому составу является сталь 09X16H4Б (ГОСТ 5632-72), содержащая, мас. %:

|    |                             |              |
|----|-----------------------------|--------------|
| 25 | углерод                     | 0,08-0,12    |
|    | кремний                     | не более 0,6 |
|    | хром                        | 15,0-16,5    |
|    | марганец                    | не более 0,5 |
|    | никель                      | 4,0-4,5      |
| 30 | ниобий                      | 0,05-0,15    |
|    | железо и неизбежные примеси | остальное    |

Существенным недостатком данной стали является недостаточная для высоконагруженных деталей прочность ( $\sigma_{0,2} < 1100$  МПа), крупное зерно ( $> 40$  мкм) при изготовлении крупногабаритных изделий (поковок и горячедеформированных труб) и плохая обрабатываемость резанием.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является создание стали, обладающей мелкозернистой структурой и обеспечивающей повышение прочности при сохранении пластичности.

Технический результат достигается за счет дополнительного введения азота, ванадия, кальция при следующем соотношении компонентов, мас. %:

|    |                             |              |
|----|-----------------------------|--------------|
|    | углерод                     | 0,04-0,07    |
|    | кремний                     | не более 0,6 |
|    | хром                        | 15,5-16,5    |
|    | никель                      | 4,8-5,8      |
| 45 | азот                        | 0,11-0,18    |
|    | ниобий                      | 0,03-0,08    |
|    | ванадий                     | 0,03-0,08    |
|    | марганец                    | 0,5-1,0      |
|    | кальций                     | 0,02-0,03    |
|    | железо и неизбежные примеси | остальное    |

при этом должны выполняться условия

$$\frac{[V] + [Nb]}{[C] + [N]} = 0,4 \div 0,6 \quad (1)$$

$$[Cr] - 1,5[Ni] + 2[Si] - 0,75[Mn] - 30[C + N] + 1,5[V] + 0,9[Nb] = 1,0 \div 4 \quad (2)$$

где [Cr], [Ni], [Mn], [Si], [C+N], [V], [Nb] - концентрация в стали хрома, никеля, марганца, кремния, углерода и азота, ванадия, ниобия соответственно, выраженная в мас. %.

5 Элементы ванадий, ниобий, углерод и азот образуют в стали дисперсные частицы нитридов и карбонитридов ванадия и ниобия, сдерживающие рост зерна в стали при нагреве под закалку, т.е. способствующие формированию мелкозернистой структуры стали, необходимой для получения высокой прочности. Уравнение (1) регулирует соотношение V, Nb, C и N таким образом, чтобы в стали образовывалось оптимальное количество частиц нитридов и карбонитридов и сталь при высокой прочности сохраняла пластичность. Так, при избыточном содержании ванадия и ниобия, приводящем к получению больших, чем в уравнении (1), значений, сталь имеет низкие значения характеристик пластичности стали из-за высокого содержания карбонитридов ванадия и ниобия (плавка 6 в табл.2).

10 Уравнение (2) регулирует соотношение и количество мартенсита и остаточного аустенита в стали за счет учета феррито- и аустенитообразующей способности входящих в состав стали элементов (с использованием коэффициентов из уравнений для оценки эквивалентов феррито- и аустенитообразования). Соотношение компонентов в рамках уравнения 2 (при соблюдении уравнения 1) позволяет получить оптимальную структуру с заданным количеством мартенсита (75-90%) и аустенита (25-10%), не содержащую δ-феррит.

Граничные условия по концентрациям отдельных элементов, входящих в состав стали, обусловлены следующими факторами. У стали с содержанием хрома более 16,5% и никеля менее 4,8% (пл.6) не достигается достаточной для практического использования пластичности. При концентрации хрома менее 15,5% (плавка 5) и никеля более 5,8%, а азота более 0,18% невозможно получить качественные (без пор) крупные слитки из-за низкой растворимости азота в жидкой стали при таком содержании хрома и никеля. Содержание азота менее 0,11% (пл. 5) не обеспечивает достаточной прочности, а более 0,18% (пл.6) - пластичности стали. Введение в заявляемую сталь более 0,07% углерода (пл.6) приводит к понижению пластичности в результате преимущественного выделения по границам зерен крупных частиц карбида хрома типа  $Cr_{23}C_6$ . Для получения стали с содержанием углерода менее 0,04% необходима специальная технология выплавки. Добавки ванадия и ниобия в количестве 0,03-0,08% каждого обеспечивают получение мелкозернистой структуры. Добавки этих элементов в меньшем количестве, чем 0,03%, неэффективны, а при их концентрации свыше 0,08% возможны низкие значения характеристик пластичности стали из-за высокого содержания карбонитридов ванадия и ниобия. Добавки кальция в количестве 0,02-0,03% в заявляемую сталь существенно улучшают ее обрабатываемость резанием.

Химический состав и механические свойства металла исследованных плавок предложенной и известной сталей приведены в табл.1 и 2.

40

| Таблица 1<br>Химический состав предложенной и известной сталей (мас. %).         |       |       |      |       |       |      |      |       |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|
| Сталь                                                                            | № пл. | C     | N    | C+N   | Cr    | Ni   | Mn   | Ca    | Si   | Nb   | V    |
| известная                                                                        | 1     | 0,115 | -    | 0,115 | 15,50 | 4,01 | 0,39 | -     | 0,34 | 0,09 | -    |
| предложенная                                                                     | 2     | 0,040 | 0,11 | 0,15  | 15,50 | 4,80 | 0,51 | 0,020 | 0,20 | 0,03 | 0,06 |
|                                                                                  | 3     | 0,040 | 0,13 | 0,17  | 16,25 | 5,36 | 0,69 | 0,030 | 0,51 | 0,07 | 0,03 |
|                                                                                  | 4     | 0,070 | 0,18 | 0,25  | 16,50 | 5,80 | 0,91 | 0,030 | 0,41 | 0,08 | 0,08 |
| **)                                                                              | 5     | 0,025 | 0,10 | 0,125 | 14,20 | 2,10 | 0,41 | 0,005 | 0,10 | 0,03 | 0,02 |
|                                                                                  | 6     | 0,100 | 0,20 | 0,30  | 17,10 | 4,60 | 1,22 | 0,050 | 0,45 | 0,23 | 0,12 |
| *) железо - остальное                                                            |       |       |      |       |       |      |      |       |      |      |      |
| **) сталь, химический состав которой выходит за рамки состава предлагаемой стали |       |       |      |       |       |      |      |       |      |      |      |

45

| Таблица 2<br>Механические свойства предложенной и известной сталей после оптимальных режимов обработки |                                   |  |  |       |                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--|--|-------|------------------------|
| Сталь                                                                                                  | Обработка                         |  |  | № пл. | σ <sub>0,2</sub> , МПа |
| известная                                                                                              | Закалка 1050°C + отпуск 380°C 2 ч |  |  | 1     | 1080                   |

50

| Сталь     | σ <sub>0,2</sub> , МПа | δ, % | ψ, % |
|-----------|------------------------|------|------|
| известная | 1080                   | 18   | 57   |

|              |                                                                     |   |      |    |    |
|--------------|---------------------------------------------------------------------|---|------|----|----|
| предложенная | Закалка 1000°C + отпуск 400°C 2 ч                                   | 2 | 1254 | 20 | 62 |
|              |                                                                     | 3 | 1350 | 18 | 59 |
|              |                                                                     | 4 | 1370 | 18 | 57 |
|              | Закалка 1050°C + обработка холодом при -70°C 3 ч + отпуск 500°C 2 ч | 2 | 1410 | 21 | 60 |
|              |                                                                     | 3 | 1465 | 19 | 61 |
|              |                                                                     | 4 | 1468 | 18 | 60 |
|              | Закалка 1050°C + холодная прокатка со степенью обжатия 25%          | 2 | 1813 | 19 | 61 |
|              |                                                                     | 3 | 1875 | 14 | 53 |
|              |                                                                     | 4 | 1880 | 13 | 52 |
|              | **) Закалка 1000°C + отпуск 400°C 2 ч                               | 5 | 1020 | 19 | 60 |
|              |                                                                     | 6 | 1170 | 5  | 33 |
|              | **) указаны концентрации элементов                                  |   |      |    |    |

Высокопрочное состояние стали достигается у заявляемой стали с соотношением компонентов согласно уравнениям 1 и 2 в результате указанных ниже обработок.

1. Закалка от температуры 1000-1050°C и/или пластическая деформация при температурах 900-1100°C, после которой сталь обладает мелкозернистой структурой с размером зерна 15-25 мкм с количеством мартенсита 75-90% и аустенита 25-10%.

2. Закалка от температуры 1000-1050°C и/или пластическая деформация при температурах 900-1100°C и последующая обработка холодом при температурах -60 - -80°C, после которых сталь обладает мелкозернистой структурой с размером зерна 15-25 мкм с количеством мартенсита 75-90% и аустенита 25-10%.

3. Закалка от температуры 1000-1050°C и/или пластическая деформация при температурах 900-1100°C и последующий отпуск при температурах 400-500°, после которых сталь обладает мелкозернистой структурой с размером зерна 15-25 мкм с количеством мартенсита 75-90% и аустенита 25-10%.

4. Закалка от температуры 1000-1050°C и/или пластическая деформация при температурах 900-1100°C и последующая холодная пластическая деформация, после которых сталь обладает мелкозернистой структурой с размером зерна 15-25 мкм с количеством мартенсита 75-90% и аустенита 25-10%.

Сталь подвергнутых проверке составов выплавляли в открытой индукционной печи. Азот при выплавке вводили с помощью азотированного феррохрома. Термическую обработку указанной стали производили по режимам:

(б1) закалка от 1000°C с охлаждением в воде и последующий отпуск при температуре 400°C в течение двух часов;

(в1) закалка от 1050°C с охлаждением в воде, последующая обработка холодом при -70°C (3 часа) и последующий отпуск при температуре 500°C в течение двух часов.

(г1) закалка от 1050°C с охлаждением в воде с последующей холодной прокаткой со степенью обжатия 25%.

Легирование заявляемой стали азотом, ванадием и кальцием в указанных пределах (пл.2, 3 и 4) приводит после термической обработки по режимам б-г к повышению по сравнению с прототипом (пл.1) предела текучести до 1254-1880 МПа при сохранении удовлетворительной пластичности ( $\delta=13-21\%$  и  $\psi=52-62\%$ ).

Новая сталь имеет после оптимальных режимов обработки (табл.2):

- режима б1 (закалка с отпуском):

предел текучести  $\sigma_{0,2}=1254-1370$  МПа,

относительное удлинение  $\delta=18-20\%$ ,

относительное сужение  $\psi=57-62\%$ ;

- режима в1 (закалки, обработки холодом и отпуска):

предел текучести  $\sigma_{0,2}=1410-1468$  МПа,

относительное удлинение  $\delta=18-21\%$ ,

относительное сужение  $\psi=60-62\%$ ;

- режима г1 (закалки и холодной прокатки):

предел текучести  $\sigma_{0,2}=1813-1880$  МПа,

относительное удлинение  $\delta=13-19\%$ ,

относительное сужение  $\psi=52-61\%$ .

Закалка от температуры ниже  $1000^{\circ}\text{C}$  приводит к снижению пластических характеристик.

5 Закалка от температуры выше  $1050^{\circ}\text{C}$  приводит к снижению прочностных характеристик. Обработка холодом при температурах  $-60$  -  $-80^{\circ}\text{C}$  увеличивает количество мартенсита в структуре и повышает прочность стали при сохранении повышенной пластичности. Отпуск при температурах  $300-500^{\circ}\text{C}$  приводит к повышению показателей прочности за счет выделения дисперсных карбонитридов хрома. При температуре выше  $500^{\circ}\text{C}$  достигается  
10 снижение показателей прочности в результате укрупнения частиц карбонитридов хрома. Холодная прокатка со степенью обжатия  $25\%$  вызывает упрочнение вследствие наклепа стали.

15 Таким образом, по результатам проведенных испытаний видно, что предлагаемая сталь (пл.2, 3 и 4) в отличие от прототипа (пл. 1) обладает более высоким пределом текучести при сохранении повышенной пластичности, что приводит к увеличению срока службы и надежности конструкций из этой стали.

#### Формула изобретения

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

|    |                             |              |
|----|-----------------------------|--------------|
|    | углерод                     | 0,04-0,07    |
|    | кремний                     | не более 0,6 |
| 25 | хром                        | 15,5-16,5    |
|    | никель                      | 4,8-5,8      |
|    | азот                        | 0,11-0,18    |
|    | ниобий                      | 0,03-0,08    |
|    | ванадий                     | 0,03-0,08    |
|    | марганец                    | 0,5-1,0      |
| 30 | кальций                     | 0,02-0,03    |
|    | железо и неизбежные примеси | остальное    |

при выполнении условий

$$35 \frac{[V] + [Nb]}{[C] + [N]} = 0,4 \div 0,6 \quad \text{и}$$

$$[Cr]-1,5[Ni]+2[Si]-0,75[Mn]-30[C+N]+1,5[V]+0,9[Nb]=1\pm 4.$$

2. Сталь по п.1, отличающаяся тем, что после закалки от температуры  $1000-1050^{\circ}\text{C}$  и/или пластической деформации при температурах  $900-1100^{\circ}\text{C}$  она обладает  
40 мелкозернистой структурой с размером зерна  $15-25$  мкм с количеством мартенсита  $75-90\%$  и аустенита  $25-10\%$ .

3. Сталь по п.1, отличающаяся тем, что после закалки от температуры  $1000-1050^{\circ}\text{C}$  и/или пластической деформации при температурах  $900-1100^{\circ}\text{C}$  и последующей обработкой холодом при температурах  $-60 \div -80^{\circ}\text{C}$  она обладает мелкозернистой структурой с  
45 размером зерна  $15-25$  мкм с количеством мартенсита  $75-90\%$  и аустенита  $25-10\%$ .

4. Сталь по п.2, отличающаяся тем, что после закалки от температуры  $1000-1050^{\circ}\text{C}$  и/или пластической деформации при температурах  $900-1100^{\circ}\text{C}$  и последующего отпуска при температурах  $400-500^{\circ}\text{C}$  она обладает мелкозернистой структурой с размером зерна  $15-25$  мкм с количеством мартенсита  $75-90\%$  и аустенита  $25-10\%$ .

50 5. Сталь по п.1, отличающаяся тем, что после закалки от температуры  $1000-1050^{\circ}\text{C}$  и/или пластической деформации при температурах  $900-1100^{\circ}\text{C}$  и последующей холодной пластической деформации она обладает мелкозернистой структурой с размером зерна  $15-25$  мкм с количеством мартенсита  $75-90\%$  и аустенита  $25-10\%$ .