



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016115878, 25.04.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.04.2016Дата регистрации:
19.04.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.04.2016

(45) Опубликовано: 19.04.2017 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

119334, Москва, Ленинский пр-т, 49, ФГБУН
Институт металлургии и материаловедения им.
А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ
РАН)

(72) Автор(ы):

Анцыферова Марина Валентиновна (RU),
Баннных Олег Александрович (RU),
Баннных Игорь Олегович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук (ИМЕТ РАН)
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: EP 2474639 A1, 11.07.2012. JP
07-157846 A, 20.06.1995. EP 2434028 A1,
28.03.2012. EP 2835439 A1, 11.02.2015. RU
2031179 C1, 20.03.1995. RU 2478727 C1,
10.04.2013.**(54) ВЫСОКОПРОЧНАЯ НИЗКОЛЕГИРОВАННАЯ КОНСТРУКЦИОННАЯ СТАЛЬ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к составам высокопрочных конструкционных сталей, используемых в оборудовании для холодной обработки давлением, в конструкциях летательных аппаратов, в транспортном, горнодобывающем и дорожно-строительном машиностроении, в деталях и механизмах, длительно сопротивляющимся постоянным и знакопеременным нагрузкам в широком диапазоне температур. Сталь содержит, мас.%: углерод от более 0,50 до 0,70, марганец 0,42-0,82,

кремний 0,80-1,80, хром 0,80-2,00, никель 1,50-3,00, молибден 0,30-0,60, алюминий 0,02-0,15, ванадий 0,02-0,12, церий 0,005-0,02, медь 0,03-2,00, кальций от более 0,005 до 0,015, железо и неизбежные примеси – остальное. Обеспечивается сочетание высокой прочности и пластичности стали, а именно: временное сопротивление разрыву (σ_B) 2200-2500 МПа, относительное удлинение (δ) 12-14,5%, относительное сужение (Ψ) 30-40%, ударная вязкость (KCU) более 50 Дж/м² и твердость (HRC) 56-60. 1 з.п. ф-лы, 3 табл.

RU
2 617 070
С1

RU
2 617 070
С1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2016115878, 25.04.2016**(24) Effective date for property rights:
25.04.2016Registration date:
19.04.2017

Priority:

(22) Date of filing: **25.04.2016**(45) Date of publication: **19.04.2017** Bull. № 11

Mail address:

119334, Moskva, Leninskij pr-t, 49, FGBUN Institut metallurgii i materialovedeniya im. A.A. Bajkova Rossijskoj akademii nauk (IMET RAN)

(72) Inventor(s):

**Antsyferova Marina Valentinovna (RU),
Bannykh Oleg Aleksandrovich (RU),
Bannykh Igor Olegovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe uchrezhdenie nauki Institut metallurgii i materialovedeniya im. A.A. Bajkova Rossijskoj akademii nauk (IMET RAN) (RU)(54) **HIGH-STRENGTH LOW-ALLOY CONSTRUCTIONAL STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: steel contains, wt %: carbon from more than 0.50 to 0.70, manganese 0.42-0.82, silicon 0.80-1.80, chromium 0.80-2.00, nickel 1.50-3.00, molybdenum 0.30-0.60, aluminium 0.02-0.15, vanadium 0.02-0.12, cerium 0.005-0.02, copper 0.03-2.00, calcium from more than 0.005 to 0.015, iron and unavoidable

impurities are the rest. A combination of high strength and plasticity of steel is provided, namely: tensile strength (σ_B) 2200-2500 MPa, elongation (δ) 12-14.5%, relative narrowing (Ψ) 30-40%, impact strength (KCU) more than 50 J/M² and hardness (HRC) 56-60.EFFECT: improved strength and plasticity of steel.
2 cl, 3 tbl

Изобретение относится к области металлургии, в частности к составам сталей, и касается высокопрочной конструкционной стали, отличающейся сочетанием высокой прочности с высокой пластичностью.

5 Высокопрочная конструкционная сталь может быть использована в оборудовании для холодной обработки давлением, в конструкциях летательных аппаратов, транспортного, горнодобывающего и дорожно-строительного машиностроения, в деталях и механизмах, длительно сопротивляющихся постоянным и знакопеременным нагрузкам в диапазоне температур от -40 до +50(70)°С.

10 Известна мартенситная сталь, мас. %: углерод 0,20-0,45; марганец 0,4-1,5; кремний 0,5-2,0; хром 0,1-2,0; молибден 0,15-1,2; ванадий 0,01-0,4; титан 0,01-0,25; алюминий 0,005-0,05; бор 0,0001-0,010 (United States Patent: 5,900,077. 1998 г.). Однако стали такого состава не обеспечивают уровня прочности и твердости, достаточного для создания ряда ответственных и перспективных конструкций [из-за недостаточно высокого содержания углерода].

15 Известен другой состав стали, содержащей следующие элементы, мас. %: углерод 0,5-1,0; кремний 1-2; марганец 0-0,2; хром 0,1-0,5; сера 0,001. Однако из-за отсутствия в данном составе стали пластифицирующих элементов, таких как никель и/или медь, сталь не может обеспечить сочетание в одном и том же изделии высокой прочности и твердости с достаточно высокой пластичностью (United States Patent 5,863,358. 1997 г.).

20 Известен еще другой состав стали, содержащей следующие элементы, мас. %: углерод 0,05-0,45; марганец 1-1,8; хром 0,15-1,15; молибден 0,06-0,12; титан 0,01-0,04; алюминий 0,005-0,04; кальций 0,0002-0,002, никель до 0,3; медь до 0,3 (United States Patent 5,762,725. 1998 г.). Однако и эта сталь не обеспечивает достаточно высокого уровня прочности и твердости из-за ограниченного совокупного содержания углерода, молибдена и

25 никеля. Известна сталь с высоким совокупным уровнем характеристик прочности и вязкости (Патент РФ №2031179. 1995 г.), содержащая следующие элементы, мас. %: углерод 0,5-0,62; марганец 0,42-0,82; кремний 0,80-1,80; хром 1,1-1,4; молибден 0,15-0,60; алюминий 0,02-0,15; титан 0,02-0,12; никель 0-2,4; церий 0-0,2.

30 Однако и эта сталь не обеспечивает возросших требований по сопротивлению абразивному износу, нуждаясь в дополнительном повышении твердости, прочности и вязкости разрушения.

35 Задачей данного изобретения является создание химического состава высокопрочной конструкционной стали, который позволил бы использовать ее в качестве материала для деталей и механизмов, длительно выдерживающих воздействие постоянных и знакопеременных нагрузок в интервале температур от -40 до +50(70)°С.

Техническим результатом изобретения является то, что заявляемая высокопрочная конструкционная сталь сохраняет уровень прочности прототипа и существенно превосходит его по относительному сужению и ударной вязкости.

40 Технический результат достигается тем, что высокопрочная конструкционная сталь, имеющая в своем составе углерод, марганец, кремний, хром, никель, молибден, алюминий, церий, ванадий, медь, кальций, железо и неизбежные примеси, отличающаяся тем, что она содержит компоненты при следующем соотношении, мас. %:

45	углерод	от более 0,50 до 0,70
	марганец	0,42-0,82
	кремний	0,80-1,80
	хром	0,80-2,00
	никель	1,50-3,00

	молибден	0,30-0,60
	алюминий	0,02-0,15
	ванадий	0,02-0,12
	церий	0,005-0,02
	медь	0,03-2,00
5	кальций	от более 0,005 до 0,015
	железо и неизбежные примеси	остальное,

при этом она имеет временное сопротивление разрыву (σ_B) 2200-2500 МПа, относительное удлинение (δ) 12-14,5%, относительное сужение (Ψ) 30-40%, ударную вязкость (KCU) более 50 Дж/м² и твердость (HRC) 56-60.

Высокопрочная конструкционная сталь, отличающаяся тем, что она при содержании меди в количестве 1,8-2,0 мас. %, содержит никель в количестве 1,5-2,0 мас. %.

Такой химический состав высокопрочной конструкционной стали позволяет получить материал для изготовления оборудования для холодной обработки давлением, в конструкциях летательных аппаратов, транспортного, горнодобывающего и дорожно-строительного машиностроения, в деталях и механизмах, длительно сопротивляющихся постоянным и знакопеременным нагрузкам в диапазоне температур от -40 до +50(70) °С.

Возможно, чтобы высокопрочная конструкционная сталь дополнительно содержала медь в пределах от 0,03 до 2,00 мас. %. Это способствует улучшению характеристик деформационного упрочнения (улучшение пластической стабильности стали в процессе деформации и дополнительное повышение вязкости разрушения). В случае, когда содержание указанной меди находится в пределах 1,8-2,00 мас. %, содержание никеля может быть ограничено интервалом 1,5-2,0 мас. %. Это дает возможность при таком содержании меди и никеля обеспечить оптимальный характер структурного превращения стали в процессе упрочняющей термической обработки и последующей пластической деформации.

Указанный хром целесообразно выбрать в пределах 0,80-2,00 мас. %. В этом интервале хром обеспечивает наиболее благоприятные характеристики прочности и пластичности высокопрочной конструкционной стали в результате термической обработки при указанном содержании углерода.

Высокопрочная конструкционная сталь может дополнительно содержать кальций в пределах от более 0,005 до 0,015 мас. %. Это позволяет дополнительно рафинировать сталь в процессе выплавки за счет активного раскисления, особенно в сочетании с кремнием.

В дальнейшем данное изобретение поясняется конкретными примерами его осуществления, таблицами химического состава выплавленного материала и механических характеристик конкретных образцов.

Патентуемая высокопрочная конструкционная сталь содержит указанные компоненты в предлагаемом соотношении.

Неизбежные примеси в стали – это, как правило, сера и фосфор. Суммарное содержание серы и фосфора при выплавке в электропечах обычно понижают до уровня не выше 0,025 мас. %. В Таблице 1 представлен химический состав конкретных образцов высокопрочной конструкционной стали. В Таблице 1 из числа примесей представлены только сера и фосфор.

Высокопрочная конструкционная сталь с конкретными опытными составами, подтверждающими целесообразность выбора указанных пределов, представлена в Таблице 1. Выплавку высокопрочной конструкционной стали проводили по известной

стандартной технологии в электропечах (индукционных) емкостью 5 кг в интервале температур 1580-1600°C. Длительность плавки 1 час. Обработку расплава алюминием и кальцием проводили по окончании плавки в ковше перед выпуском стали.

5 В Таблице 2 представлены механические свойства конкретных образцов высокопрочной конструкционной стали. После горячей прокатки и обычной термической обработки конкретные образцы высокопрочной конструкционной стали, представленные в Таблице. 1, обладают механическими свойствами, представленными в Таблице. 2.

10 Углерод обеспечивает основной вклад в прирост уровня прочностных характеристик и твердости высокопрочной конструкционной стали, определяющих ее работоспособность в деталях конструкций. Если содержание углерода превышает 0,7 мас. %, прирост прочности и твердости не реализуется из-за опережающего хрупкого разрушения (см. Пример 2 в Таблицах 1 и 2). Если содержание углерода не достигает 0,5 мас. %, временное сопротивление разрыву остается на недостаточно высоком уровне 15 (см. Пример 5 в Таблице. 1 и 2).

Марганец введен в целях повышения прокаливаемости высокопрочной конструкционной стали и подавления эффектов красноломкости примесей серы. Многолетний опыт эксплуатации сталей указанного типа показывает, что благоприятное 20 содержание марганца соответствует пределам 0,42-0,82 мас. %. Более высокое содержание марганца повышает вероятность хрупкого растрескивания высокопрочной низколегированной конструкционной стали при деформационной обработке и в эксплуатации (см. Пример 10 в Таблицах 1 и 2).

Кремний обеспечивает рафинирование высокопрочной конструкционной стали в процессе ее выплавки, а также наиболее благоприятные кинетику и характер 25 структурных изменений в процессе отпуска закаленной стали. Известно, что введение кремния в количестве, превышающем 2 мас. %, значительно увеличивает опасность образования неметаллических включений, присутствие которых в высокопрочной конструкционной стали повышает вероятность неожиданного разрушения, особенно под воздействием циклических нагрузок. В заявляемой высокопрочной конструкционной 30 стали содержание кремния выше 1,8 мас. % приводило к снижению пластичности (см. Пример 9 в Таблицах 1 и 2). Если содержание кремния ниже 0,8 мас. %, временное сопротивление разрыву и пластичность стали снижаются (см. Пример 13 в Таблицах 1 и 2). Опыт эксплуатации высокопрочных конструкционных сталей заявляемого типа позволяет выбрать содержание кремния в пределах 0,8-1,8 мас. %.

35 Хром улучшает характеристики прочности высокопрочной конструкционной стали, приобретаемые в процессе термической обработки, способствует повышению прокаливаемости и формированию оптимальной мелкодисперсной структуры. Введение хрома в количестве выше 2,0 мас. % приводит к снижению пластичности высокопрочной конструкционной стали (см. Пример 4 в Таблицах 1 и 2). При содержании хрома ниже 40 0,8 мас. % прочностные характеристики высокопрочной конструкционной стали в упрочненном состоянии понижены (см. Пример 3 в Таблицах 1 и 2).

Никель введен в состав высокопрочной конструкционной стали в количестве от 1,5 до 3,0 мас. %. Цель добавки - улучшение прокаливаемости и вязкости высокопрочной конструкционной стали в изделиях. Если никель введен в количестве до 1 мас. %, одна 45 из основных характеристик трещиностойкости - ударная вязкость, не достигает желаемого уровня; это относится также и к уровню пластичности (см. Пример 1 в Таблице. 1 и 2). Если добавка никеля выше 3,0 мас. %, наблюдается снижение прочностных свойств стали и при этом существенно возрастает стоимость стали (см.

Пример 6 в Таблицах 1 и 2).

Медь введена в количестве от 0.03 до 2.0 мас. %. Ее влияние на механическое поведение высокопрочной конструкционной стали аналогично никелю - повышение характеристик механической вязкости высокопрочной конструкционной стали и сопротивления пластической деформации в изделиях, а также дополнительное улучшение характеристик прокаливаемости. При отсутствии меди, если никель введен в пределах 1,5-2,0 мас. %, наблюдается некоторое снижение уровня пластичности и вязкости (см. Пример 7 в Таблицах 1 и 2). Предпочтительный интервал содержания меди в заявляемой высокопрочной конструкционной стали соответствует 1.8-2.0 мас. %. При таком содержании меди замена ею никеля наиболее эффективна. Содержание никеля в этом случае может быть успешно ограничено пределами 1,5-2,0 мас. % (см. Примеры 8 и 11 в Таблицах 1 и 2).

Молибден дает важный вклад в формирование упрочняющих теплостойких карбидных выделений, увеличивает прокаливаемость и подавляет отпускную хрупкость. Пределы легирования молибденом выбраны с учетом многолетнего опыта эксплуатации подобных материалов.

Ванадий обладает повышенным сродством к углероду. Он введен в состав заявляемой высокопрочной конструкционной стали в пределах от 0,02 до 0,12 мас. %, как сильный карбидообразователь, улучшающий характеристики прочности и пластичности высокопрочной конструкционной стали, вследствие его сдерживающего влияния на рост аустенитного зерна на стадии кристаллизации и охлаждения слитка и при последующем горячем деформировании, а также в процессе термического упрочнения. Ванадий повышает прокаливаемость и улучшает свариваемость высокопрочной конструкционной стали. Пределы легирования ванадием выбраны на основании длительного практического опыта заявителей.

Алюминий вводят в пределах 0,02-0,15 мас. % в целях раскисления высокопрочной конструкционной стали и измельчения ее структуры. Пределы содержания алюминия также выбраны на основании практического опыта заявителей.

Церий введен в заявляемую высокопрочную конструкционную сталь в количестве от 0,005 до 0,02 мас. % в целях ее раскисления, десульфурации и измельчения структуры за счет формирования мелкодисперсных тугоплавких соединений церия с кислородом и серой. Пределы легирования церием выбраны на основании практического опыта, накопленного в металлургии. Дополнительную обработку церием проводили в ковше перед разливкой стали.

Кальций введен в заявляемую высокопрочную конструкционную сталь в пределах от более 0.005 до 0,015 мас. % с целью дополнительного раскисления расплава в совокупности с кремнием, алюминием и церием. Указанные пределы продиктованы многолетним практическим опытом в области металлургии стали.

Заявленная высокопрочная конструкционная сталь обладает механическими свойствами, представленными в Таблице 3.

Таким образом, обладая прочностью не ниже, чем у известных наиболее прочных аналогов, заявляемая высокопрочная конструкционная сталь значительно превосходит их по уровню пластичности. Следует учесть, что уже прототип превосходит в 1,5-2,0 раза известные аналоги из числа известных высокопрочных конструкционных сталей по уровню прочности в сочетании с высокой вязкостью и пластичностью. Заявляемая высокопрочная конструкционная сталь сохраняет уровень прочности прототипа и существенно превосходит его по относительному сужению и ударной вязкости. При столь высокой прочности дополнительное повышение ударной вязкости - одной из

основных характеристик трещиностойкости переводит заявляемую высокопрочную конструкционную сталь в число ультрапрочных конструкционных материалов с уникально высоким уровнем сопротивления хрупкому разрушению.

- Комплекс прочностных и пластических свойств заявляемой высокопрочной конструкционной стали делает ее предпочтительной в качестве материала для изготовления оборудования для холодной обработки давлением, в конструкциях летательных аппаратов, транспортного, горнодобывающего и дорожно-строительного машиностроения, в деталях и механизмах, длительно сопротивляющихся постоянным и знакопеременным нагрузкам в диапазоне температур от -40 до +50(70)°С.
- Использование заявляемой высокопрочной конструкционной стали взамен штатных материалов может привести к существенному облегчению конструкций. Заявляемая высокопрочная конструкционная сталь значительно превосходит по уровню удельной прочности такие популярные конструкционные материалы, как высокопрочные сплавы алюминия и магния и даже титана. Кроме этого стоимость заявляемой высокопрочной конструкционной стали в несколько раз ниже, чем у этих материалов.

Таблица 1

Пример №	Содержание элементов, мас.%											Примеси	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	V	Ce	Cu	Ca	S	P
1	0,53	0,80	0,76	1,10	1,00	0,45	0,030	0,050	0,010	0,30	0,005	0,008	0,011
2	0,73	0,85	0,77	1,10	1,80	0,48	0,025	0,052	0,010	0,30	0,004	0,007	0,012
3	0,56	0,85	0,75	0,76	1,75	0,46	0,030	0,045	0,010	0,24	0,005	0,006	0,015
4	0,56	0,86	0,77	2,55	1,80	0,46	0,025	0,050	0,015	0,28	0,004	0,007	0,012
5	0,49	1,00	0,76	1,20	1,75	0,55	0,030	0,040	0,015	0,28	0,005	0,008	0,009
6	0,50	1,15	0,80	1,20	3,19	0,60	0,070	0,045	0,010	1,83	0,005	0,008	0,008
7	0,57	1,20	0,77	1,20	1,78	0,55	0,060	0,040	0,010	0,03	0,005	0,007	0,010
8	0,55	1,10	0,85	1,15	2,00	0,57	0,060	0,050	0,010	1,81	0,006	0,006	0,011
9	0,60	1,90	0,76	1,15	1,80	0,55	0,055	0,045	0,010	0,30	0,004	0,006	0,010
10	0,58	1,15	0,85	1,15	1,78	0,45	0,050	0,040	0,015	0,28	0,006	0,007	0,010
11	0,56	1,20	0,78	1,12	2,00	0,50	0,047	0,047	0,010	2,09	0,005	0,007	0,015
12	0,57	1,10	0,77	1,17	3,00	0,45	0,045	0,047	0,010	0,32	0,006	0,006	0,020
13	0,56	0,72	0,78	1,20	1,77	0,56	0,050	0,045	0,012	0,28	0,006	0,012	0,010

Таблица 2

Пример №	Временное сопротивление разрыву, σ_B МПа	Предел текучести, $\sigma_{0.2}$ МПа	Относительное удлинение, δ %	Относительное сужение, ψ %	Ударная вязкость КСU, МДж/м ²	Твердость по Роквеллу HRC
1	2215	1243	8.3	26.0	2.5	55
2	1858	1740	-	-	0.3	60
3	2190	1695	9.0	28.0	3.5	55
4	2344	1602	8.0	28.0	3.0	57
5	2128	1506	10.1	36.0	4.5	56
6	2160	1719	12.1	40.0	4.5	56
7	2244	1708	8.9	25.0	3.0	56
8	2467	1665	13.5	39.5	4.5	56
9	2210	1843	8.0	26.0	3.0	60
10	2245	1730	8.0	28.0	3.0	57
11	2510	1680	14.3	43.5	5.0	56
12	2344	1655	13.8	42.0	4.5	57
13	2278	1684	9.0	22.0	3.0	58

Таблица 3

Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость КСЧ, Дж/м ²	Твердость НРС
2200 – 2500	12-14,5	30-40	Более 50	56-60

(57) Формула изобретения

1. Высокопрочная конструкционная сталь, содержащая углерод, марганец, кремний, хром, никель, молибден, алюминий, церий, ванадий, медь, кальций, железо и неизбежные примеси, отличающаяся тем, что она содержит компоненты при следующем соотношении, мас. %:

углерод	от более 0,50 до 0,70
марганец	0,42-0,82
кремний	0,80-1,80
хром	0,80-2,00
никель	1,50-3,00
молибден	0,30-0,60
алюминий	0,02-0,15
ванадий	0,02-0,12
медь	0,03-2,00
церий	0,005-0,02
кальций	от более 0,005 до 0,015
железо и неизбежные примеси	остальное,

при этом она имеет временное сопротивление разрыву (σ_B) 2200-2500 МПа, относительное удлинение (δ) 12-14,5%, относительное сужение (Ψ) 30-40%, ударную вязкость (КСЧ) более 50 Дж/м² и твердость (НРС) 56-60.

2. Сталь по п. 1, отличающаяся тем, что при содержании меди в количестве 1,8-2,0 мас.%, содержание никеля составляет 1,5-2,0 мас. %.