



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C22C 38/08 (2017.08); C21D 8/00 (2017.08)

(21)(22) Заявка: 2016146524, 28.11.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.11.2016

Дата регистрации:
03.05.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.11.2016

(45) Опубликовано: 03.05.2018 Бюл. № 13

Адрес для переписки:

119991, Москва, ГСП-1, В-49, Ленинский пр-кт,
4, НИТУ "МИСиС", Отдел защиты
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Филонов Михаил Рудольфович (RU),
Баженев Вячеслав Евгеньевич (RU),
Глебов Александр Георгиевич (RU),
Капуткина Людмила Михайловна (RU),
Капуткина Наталия Ефимовна (RU),
Капуткин Дмитрий Ефимович (RU),
Киндоп Владимир Эдельбертович (RU),
Свяжин Анатолий Григорьевич (RU),
Смарыгина Инга Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Национальный
исследовательский технологический
университет "МИСиС" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2563066 C2, 20.09.2015. RU
2441092 C1, 27.01.2012. US 20070125454 A1,
07.06.2007.

(54) Конструкционная литейная и деформируемая микрелегированная азотом аустенитная теплостойкая криогенная сталь с высокой удельной прочностью и способ ее обработки

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к получению конструкционных литейных и деформируемых микрелегированных азотом аустенитных теплостойких криогенных сталей, предназначенных для различных отраслей промышленности, в том числе для изготовления легких узлов и конструкций в транспортном машиностроении, в криогенной технике и для

работы в условиях Арктики. Сталь содержит, мас. %: С: 0,15-0,20; Мп: 22-24; Ni: 4-6; Al: 4-6; N: 0,015-0,020; В: 0,004-0,008; Si: 0,6-0,8; Cr<0,1; Cu<0,05; Н<0,0002; S<0,0020; P<0,015; Sn, Pb, Bi, As не более 0,005 каждого; Fe – остальное. Сталь имеет стабильную аустенитную структуру в области температур от минус 100 до плюс 100°C и высокие прочность и пластичность. 2 н.п. ф-лы, 2 табл., 1 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C22C 38/08 (2017.08); C21D 8/00 (2017.08)

(21)(22) Application: **2016146524, 28.11.2016**

(24) Effective date for property rights:
28.11.2016

Registration date:
03.05.2018

Priority:

(22) Date of filing: **28.11.2016**

(45) Date of publication: **03.05.2018** Bull. № 13

Mail address:

**119991, Moskva, GSP-1, V-49, Leninskij pr-kt, 4,
NITU "MISiS", Otdel zashchity intellektualnoj
sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Filonov Mikhail Rudolfovich (RU),
Bazhenov Vyacheslav Evgenevich (RU),
Glebov Aleksandr Georgievich (RU),
Kaputkina Lyudmila Mikhajlovna (RU),
Kaputkina Nataliya Efimovna (RU),
Kaputkin Dmitrij Efimovich (RU),
Kindop Vladimir Edelbertovich (RU),
Svyazhin Anatolij Grigorevich (RU),
Smarygina Inga Vladimirovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Natsionalnyj issledovatel'skij
tekhnologicheskij universitet "MISiS" (RU)**

(54) **STRUCTURAL FOUNDRY AND DEFORMABLE BY MICROALLOY NITROGEN AUSTENITE HEAT-RESISTANT CRYOGENIC STEEL WITH HIGH SPECIFIC STRENGTH AND METHOD OF ITS TREATMENT**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to the field of metallurgy, namely, the production of structural foundry and deformable by microalloy nitrogen austenitic heat-resistant cryogenic steels, which are intended for various industries, including for the manufacture of light components and structures in transport engineering, cryogenic equipment and for operation under the Arctic conditions. Steel contains, mass %: C: 0.15–0.20; Mn:

22–24; Ni: 4–6; Al: 4–6; N: 0.015–0.020; B: 0.004–0.008; Si: 0.6–0.8; Cr < 0,1; Cu < 0.05; H < 0.0002; S < 0.0020; P < 0.015; Sn, Pb, Bi, As not more than 0.005 of each; Fe – the rest.

EFFECT: steel has a stable austenitic structure in the temperature range from minus 100 to plus 100°C and high strength and ductility.

2 cl, 1 ex, 2 tbl

Изобретение относится к металлургии конструкционных сталей, содержащих в качестве основы железо с заданным соотношением легирующих и примесных элементов, и предназначено для различных отраслей промышленности, в том числе для изготовления легких узлов и конструкций в транспортном машиностроении, в

криогенной технике и для работы в условиях Арктики.

Известна штампуемая сталь с низкой удельной массой и превосходной механической обрабатываемостью (RU 2484174 C1, опубл. 10.06.2013, Бюл. №16). Известная сталь содержит углерод, хром, марганец, кремний, алюминий, фосфор, серу, азот, железо и примеси при следующем соотношении, в мас. %: С от 0,05 до 0,50%, Si от 0,01 до 1,50%,

Mn от 3,0 до 7,0%, P от 0,001 до 0,050%, S от 0,020 до 0,200%, Al от 3,0 до 6,0%, Cr от 0,01 до 1,00%, N от 0,0040 до 0,0200%, Fe и неизбежные примеси - остальное.

Дополнительно сталь может содержать один или более из следующих элементов, мас. %: V от 0,05 до 0,30%, Nb от 0,05 до 0,30% и Ti от 0,005 до 0,050%. Сталь обладает высокой прочностью, более низкой удельной массой по сравнению с обычной

штампуемой сталью, повышенной механической обрабатываемостью.

Недостатки этой стали заключаются в следующем.

Сталь имеет слишком широкий интервал содержания легирующих элементов, поэтому при температурах горячей штамповки будет иметь различные микроструктуру и штампуемость. Данная сталь при высоких содержаниях серы и фосфора не может показывать достаточно высоких прочности и пластичности, хотя и при ожидаемой хорошей обрабатываемости, а при минимальных в рекомендуемом интервале содержания этих элементов нельзя ожидать хорошей обрабатываемости. При всех рекомендуемых содержаниях азота нитриды алюминия будут образовываться в жидком состоянии при температурах выплавки стали. При содержаниях азота, близких к максимальным (0,0200%), количество нитридов алюминия будет слишком большим, что неизбежно повлияет отрицательно на свойства стали, если учесть возможное присутствие: стали Ti, Nb и V и образование карбонитридов и нитридов этих элементов, то можно ожидать при высоких их и азота концентрациях образование горячих трещин при деформации.

Прототипом предложенного изобретения является высокопрочная дуплекс/триплекс сталь для легких конструкций и ее применение (US 2007125454 (A1), опубл. 07.06.2007).

Изобретение относится к стали для легкого строительства, имеющей многофазную структуру. В случае дуплекс стали структура состоит из феррита (альфа) и аустенита (гамма) кристаллов. В случае триплекс стали структура состоит из феррита, аустенита и мартенсита (эпсилон) и/или (каппа) фазы. Сталь имеет низкую плотность $< 7 \text{ г/см}^3$ благодаря высокому содержанию легких элементов Al, Mg, Ti, Si, Be, C. Сталь по патенту US 2007125454 (A1) имеет следующий состав, %: углерод 0,5-2, алюминий 8-12, кремний 3-6, сумма Al+Si>12, марганец 18-35, титан не больше 3, бор не больше 0,05. По крайней мере один из элементов Mg, Ga, Be не менее 0,3% в каждом случае и в сумме до 3%. Содержание ниобия и ванадия до 0,5%, азота до 0,3%.

Известная сталь может разливаться на установках непрерывной разливки, при отливке тонких слябов или при отливке тонкого штрипса может использоваться как литейная сталь, пригодна для горячей и холодной прокатки, глубокой вытяжки и формования растяжением. Горячая деформация производится при температурах выше температур рекристаллизации. После холодной прокатки требуется рекристаллизационный отжиг. В холоднокатаном и рекристаллизованном состоянии сталь имеет мелкозернистую равноосную микроструктуру, планарную изотропию и прочность при растяжении около 900 МПа, а максимальное удлинение 70%.

Недостатки этой стали заключаются в следующем.

Данная сталь имеет слишком широкий интервал содержаний основных структурообразующих элементов Mn, Al и C. Поэтому при значительном числе комбинаций содержаний данных элементов химического состава, определяемых изобретением, не могут быть получены заявленные структуры $\alpha+\gamma$ или $\alpha+\gamma+\epsilon$ (к) и соответственно ожидаемые свойства стали. Так, например, при содержании 25% Mn, 10% Al и заявленных содержаниях C при температуре ниже 500°C наряду с α и γ фазами могут выделяться карбиды марганца Mn_5C_2 , Mn_7C_3 , карбонитриды Ti, Nb и V в зависимости от режима охлаждения или термообработки после горячей деформации, которые в данном изобретении не регламентируются.

При содержании азота более 0,1% при всех возможных комбинациях содержаний легирующих и микролегирующих элементов по данному изобретению в стали уже в жидком состоянии будет образовываться слишком много нитридов, что приведет к образованию горячих трещин.

Сталь по патенту US 2007125454 (A1) содержит такие редкие и дорогостоящие элементы, как галлий и бериллий, при их содержаниях более 0,3% каждого, с учетом содержаний бора до 0,05%, ниобия до 0,5%, ванадия до 0,5% и титана до 3% сталь для промышленного производства неэкономична.

Данная сталь не технологична, так как обеспечение требуемых уровня и соотношения концентраций большого числа химически активных элементов Ti, Nb, Mg, Ga, Be, В и V технически сложно и при промышленном производстве трудно реализуемо, неизбежны непопадания в анализ по этим элементам и выпадения свойств готового металла.

Недостатком способа термомодеформационной обработки по патенту US 2007125454 (A1) является неполнота информации о температурах гомогенизации перед горячей прокаткой, температурном режиме охлаждения или термообработки после горячей деформации и температуре рекристаллизации после холодной прокатки, что не позволяет без дополнительных исследований получить заявленную микроструктуру.

В предлагаемом изобретении достигается технический результат, заключающийся в получении конструкционной литейной и деформируемой микролегированной азотом аустенитной теплостойкой криогенной стали с высокой удельной прочностью и в способе обработки, при следующих ее характеристиках:

- сталь имеет стабильную аустенитную структуру в области температур от минус 100 до плюс 100°C и высокие прочность и пластичность. При комнатной температуре достигаются предел прочности при растяжении $\sigma_B=900-1150$ МПа и предел текучести $\sigma_{0,2}=350-450$ МПа;

- данная сталь обладает технологичностью, так как имеет простой химсостав без большого числа химически активных микролегирующих элементов;

- данная сталь обладает экономичностью, так как в своем составе не имеет дорогостоящих элементов за исключением небольших содержаний никеля и бора.

Указанный технический результат в первом объекте изобретения достигается следующим образом.

Слиток из конструкционной литейной и деформируемой микролегированной азотом аустенитной теплостойкой криогенной стали, содержащей углерод, марганец, алюминий, кремний, железо и примеси, в качестве которых она содержит водород, серу, фосфор, хром, медь, олово, свинец, висмут и мышьяк, отличающийся тем, что сталь дополнительно содержит азот, никель и бор при следующем соотношении компонентов, мас. %:

C - 0,15-0,20;

Mn - 22-24;

Ni - 4-6;

Al - 4-6;

5 N - 0,015-0,020;

B - 0,004-0,008;

Si - 0,6-0,8;

Cr $\leq$ 0,1;

Cu $\leq$ 0,05;

10 H $\leq$ 0,0002;

S $\leq$ 0,0020;

P $\leq$ 0,015;

Sn, Pb, Bi и As не более 0,005 каждого;

Fe - остальное.

15 При этом содержание азота, обеспечивающее оптимальное количество нитридов в марганец-никель-алюминиевой стали, выбирается из соотношения $[N]\% = 0,00005 T^{\circ}\text{C} - 0,06$ для области температур легирования азотом от 1500 до 1600 $^{\circ}\text{C}$.

Указанный технический результат во втором объекте изобретения достигается следующим образом.

20 Способ термдеформационной обработки слитка, заключающийся в том, что осуществляют нагрев слитка до температуры 1150-1200 $^{\circ}\text{C}$, выдержку при этой температуре в течение 3 часов и его ковку в указанном диапазоне температур с суммарной степенью деформации более 50% с получением заготовки, охлаждение заготовки на воздухе, зачистку, нагрев и прокатку полученной заготовки в диапазоне
25 температур 1100-1000 $^{\circ}\text{C}$ с суммарной степенью обжатия более 40% и окончательную горячую прокатку при температуре 1000-950 $^{\circ}\text{C}$ с суммарным обжатием более 30% и при обжатии более 15% в последнем проходе, после чего осуществляют охлаждение на воздухе до температуры 700-750 $^{\circ}\text{C}$ и ускоренное охлаждение проката до комнатной температуры со скоростью 20-100 $^{\circ}\text{C}/\text{с}$ с обеспечением предела прочности при растяжении
30 $\sigma_B = 900-1150$ МПа и предела текучести $\sigma_{0,2} = 350-450$ МПа при комнатной температуре и предела текучести $\sigma_{0,2} = 160$ МПа при температуре 600 $^{\circ}\text{C}$.

Преимуществами предложенной в изобретении стали является то, что содержание основных структурообразующих элементов C, Mn, Al, Ni, N находится в узких пределах, благодаря чему для всех возможных при этом комбинаций химсостава равновесная
35 структура стали ниже температуры 1250 $^{\circ}\text{C}$ и до 550 $^{\circ}\text{C}$ состоит из γ -фазы, что гарантированно обеспечивает ее гомогенизацию при 1150-1200 $^{\circ}\text{C}$ и получение при последующей термдеформационной обработке требуемой структуры, состоящей из пластичной γ -фазы после закалки от температур гомогенизации и горячей прокатки. Предлагаемая сталь отличается также высокой экономичностью, так как имеет
40 небольшие содержания дорогостоящих элементов Ni и B, а также высокой технологичностью, так как сталь имеет простой химсостав без химически активных микролегирующих элементов.

Предлагаемая сталь отличается высокой чистотой по примесям, что уменьшает их ликвацию по границам зерен и способствует получению более однородной структуры.

45 Содержание углерода в пределах 0,15-0,20% способствует получению в стали аустенитной структуры, обеспечивает необходимое упрочнение стали в процессе термической обработки. При большем содержании углерода в стали уменьшается пластичность и коррозионная стойкость. При меньшем содержании углерода

уменьшается прочность, при кристаллизации образуется δ -феррит, который не полностью трансформируется при гомогенизации и остается в конечной структуре.

Марганец, никель и углерод в заданных пределах при содержании алюминия 4-6% мас. при всех возможных комбинациях содержаний этих элементов в области составов, определяемой изобретением, обеспечивают однофазную γ -структуру стали ниже температуры 1250°C и до 550°C, что гарантированно обеспечивает ее гомогенизацию при 1000-1150°C и получение при последующей термдеформационной обработке стали требуемой γ -микроструктуры.

При содержании легирующих элементов Mn, Ni, C ниже заявляемого предела при кристаллизации образуется δ -феррит, который не трансформируется при гомогенизации и остается в конечной структуре. При большем содержании марганца вследствие уменьшения теплопроводности стали при затвердевании образуется грубая дендритная структура, не устраняющаяся при гомогенизации. Кроме того, повышенное содержание марганца затрудняет процесс выплавки стали. Повышенное содержание Ni нежелательно, так как повышает себестоимость стали.

Алюминий в указанных пределах обеспечивает необходимую степень уменьшения плотности стали. При большем содержании алюминия не получается аустенитная структура при температурах гомогенизации 1150-1200°C. При меньшем содержании алюминия не обеспечивается требуемая степень уменьшения плотности стали.

Кремний в указанных пределах способствует более полному удалению неметаллических включений, а также способствует уменьшению плотности стали. При большем содержании кремния увеличивается вероятность появления α -фазы в области температур 1000-1100°C.

Присутствие в стали бора в количестве B=0,004-0,008% стабилизирует размер зерна за счет выделения боридов Mn_2B и допускает нагрев металла для гомогенизации до более высокой температуры, что обеспечивает получение однородной аустенитной структуры при температурах 1150-1200°C. Меньшее содержание бора не эффективно, при большем содержании бора образуется слишком много избыточных фаз, что приводит к лишению пластичности стали и появлению горячих трещин. При заявленных содержаниях марганца, азота и бора количество выделяющихся при кристаллизации стали нитридов и боридов Mn_2B оптимально для получения заданных свойств стали, так как при этих соотношениях бориды выделяются в основном в жидком металле в конце кристаллизации после образования около 80% твердой фазы, то есть концентрируются преимущественно в центре слитка и в междендритных пространствах, препятствуя росту зерна при рекристаллизации.

Содержание азота, определяемое по формуле $[N]\% = 0,00005 T^\circ C - 0,06$, обеспечивает в момент легирования превышение содержания азота в жидком металле над линией его растворимости на 0,0094% при 1500°C и на 0,0052 при 1600°C. В результате, учитывая различное выделение азота при охлаждении и кристаллизации при различном его исходном содержании, содержание азота в готовом металле будет в пределах от 0,015% до 0,020%.

Присутствие примесей усложняет получение заданной структуры и свойств. Поэтому данная сталь должна выплавляться по технологии чистой стали. Требуемый по изобретению предел содержаний вредных примесей, % мас: $P \leq 0,015$, $S \leq 0,0020$, $Sn \leq 0,005$, $Pb \leq 0,005$, $As \leq 0,005$, $Bi \leq 0,005$, $Cr \leq 0,1$; $Cu \leq 0,05$; $H \leq 0,0002$, в стали обеспечивает наибольший при заданном составе уровень свойств. При большем содержании примесей проявляется их отрицательное влияние на структуру и свойства стали и процессы структурообразования. Существенно меньшее содержание примесей в настоящее время

технологически трудно реализуемо. Особенно важно для марганец-никель-алюминиевой стали, чтобы содержание серы, обеспечивающее минимальное количество сульфидов было не более 0,0020%.

При способе термообработки по изобретению сталь получает после гомогенизации чисто аустенитную структуру.

При несоблюдении режимов нагрева при гомогенизации и термообработке после гомогенизации получение заявленной по изобретению структуры и соответствующих свойств невозможно.

Пример реализации выплавки и обработки стали

В опытном порядке сталь заявленного состава была выплавлена в вакуумной аукционной печи вместимостью 50 кг по жидкому металлу. Использовали чистые шихтовые материалы: железо 008ЖР, электролитический марганец, электролитический никель, гранулированный чистый алюминий, графит. После легирования и перемешивания расплава с целью его усреднения отливали слиток. Полученный слиток нагревали до температуры 1200°C и проводили гомогенизацию при этой температуре в течение 3 часов, затем охлаждение на воздухе до комнатной температуры. Температура нагрева под ковку составила 1200°C, ковку проводили при температуре 1200-1150°C с промежуточным подогревом, охлаждение на воздухе до комнатной температуры. Горячую прокатку металла проводили при 1100-1000°C на стане 300. Степень деформации в каждом проходе 30%, между проходами проводили промежуточный подогрев металла, после конца прокатки производили охлаждение проката на воздухе до 750°C, далее водой со скоростью 100°C/с.

Испытание стали на одноосное статическое растяжение по ГОСТ 1497 в горячекатаном состоянии. Химический состав полученной стали представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав полученной стали

Сталь	Массовая доля элемента, % масс.						
	Mn	Al	Si	Ni	C	N*	B
1	23,2	4,75	0,7	4,60	0,16	0,017	0,006
2	22,5	5,0	0,6	5,00	0,15	0,015	0,004
3	23,8	5,8	0,8	5,9	0,20	0,019	0,008
* – общее содержание азота в сплаве, определенное методом экстракции на приборе фирмы LECO TN-136							

Механические свойства полученного металла представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства стали

Сталь	T, °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	M _H , °C
1	20 °C	1150	395	-188
	700 °C	-	125	
2	20 °C	1095	365	-142
	600 °C	-	158	
3	20 °C	1170	415	-217
	550 °C	-	250	

M_H, °C - температура начала мартенситного превращения

При высоких температурах сталь имеет достаточно высокий предел текучести, аустенитная структура этой стали устойчива до температур ниже 100°C.

(57) Формула изобретения

1. Слиток из конструкционной литейной и деформируемой микролегированной азотом аустенитной теплостойкой криогенной стали, содержащей углерод, марганец, алюминий, кремний, азот, железо и примеси, в качестве которых она содержит водород, серу, фосфор, хром, медь, олово, свинец, висмут и мышьяк, отличающийся тем, что сталь дополнительно содержит никель и бор при следующем соотношении компонентов, мас. %:

C - 0,15-0,20

Mn - 22-24

Ni - 4-6

Al - 4-6

N - 0,015-0,020

B - 0,004-0,008

Si 0,6-0,8

Cr<0,1

Cu<0,05

H<0,0002

S<0,0020

P<0,015

Sn, Pb, Bi и As не более 0,005 каждого

Fe - остальное.

2. Способ термомеханической обработки слитка по п. 1, заключающийся в том, что осуществляют нагрев слитка до температуры 1150-1200°C, выдержку при этой температуре в течение 3 часов и его ковку в указанном диапазоне температур с суммарной степенью деформации более 50% с получением заготовки, охлаждение заготовки на воздухе, зачистку, нагрев и прокатку полученной заготовки в диапазоне температур 1100-1000°C с суммарной степенью обжатия более 40% и окончательную горячую прокатку при температуре 1000-950°C с суммарным обжатием более 30% и при обжатии более 15% в последнем проходе, после чего осуществляют охлаждение на воздухе до температуры 700-750°C и ускоренное охлаждение проката до комнатной температуры со скоростью 20-100°C/с с обеспечением предела прочности при растяжении

$\sigma_B=900-1150$ МПа и предела текучести $\sigma_{0,2}=350-450$ МПа при комнатной температуре и предела текучести $\sigma_{0,2}=160$ МПа при температуре 600°C .

5

10

15

20

25

30

35

40

45