



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C21D 8/02 (2020.08); C21D 1/78 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020115461, 07.05.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
07.05.2020

Дата регистрации:  
09.11.2020

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 07.05.2020

(45) Опубликовано: 09.11.2020 Бюл. № 31

Адрес для переписки:  
308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.  
Победы, 85, НИУ "БелГУ" ОИС Токтаревой  
Т.М.

(72) Автор(ы):  
Кайбышев Рустам Оскарович (RU),  
Беляков Андрей Николаевич (RU),  
Однобокова Марина Викторовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

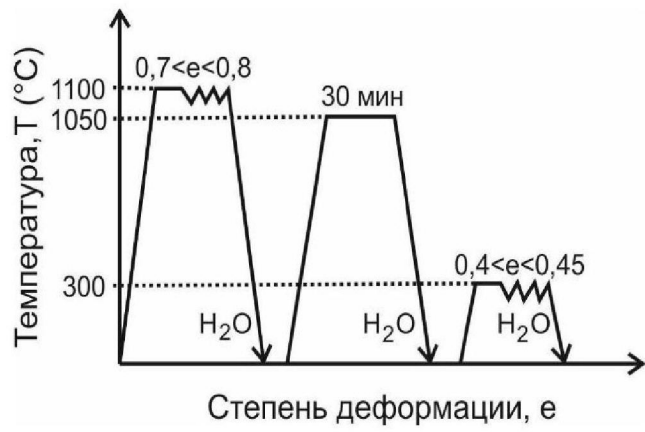
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2584315 C1, 20.05.2016. RU  
2631067 C1, 18.09.2017. SU 1826528 A1,  
10.12.1996. RU 2354716 C2, 10.05.2009. DE  
10021323 A1, 08.11.2001. DE 58907934 D1,  
28.07.1994.

(54) Способ получения катаных полуфабрикатов из аустенитной коррозионностойкой стали

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к получению катаных листовых полуфабрикатов из аустенитной коррозионностойкой стали в виде стали типа 18-8 или стали типа 18-10, и может быть использовано для изготовления элементов строительных конструкций. Проводят горячую ковку стальных заготовок при температуре 1100°C до истинной степени деформации  $0,7 < \epsilon < 0,8$  с последующим охлаждением в воде. Затем кованные стальные заготовки подвергают высокотемпературному отжигу при температуре 1050°C в течение 30

минут с охлаждением в воде. Полученные заготовки подвергают упомянутой листовой прокатке при температуре 300°C до истинной степени деформации  $0,4 < \epsilon < 0,45$ . Обеспечивается получение катаных полуфабрикатов из аустенитной коррозионностойкой стали, обладающих одновременно высокой пластичностью и вязкостью в сочетании с повышенной прочностью при сохранении коррозионной стойкости при температуре от 20°C до минус 60°C. 2 пр., 1 табл., 3 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C21D 8/02 (2020.08); C21D 1/78 (2020.08)*

(21)(22) Application: **2020115461, 07.05.2020**

(24) Effective date for property rights:  
**07.05.2020**

Registration date:  
**09.11.2020**

Priority:

(22) Date of filing: **07.05.2020**

(45) Date of publication: **09.11.2020 Bull. № 31**

Mail address:

**308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul. Pobedy, 85, NIU "BelGU" OIS Toktarevoj T.M.**

(72) Inventor(s):

**Kajbyshev Rustam Oskarovich (RU),  
Belyakov Andrej Nikolaevich (RU),  
Odnobokova Marina Viktorovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU "BelGU") (RU)**

(54) **METHOD OF PRODUCING ROLLED SEMI-PRODUCTS FROM AUSTENITIC CORROSION-RESISTANT STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy, namely to production of rolled sheet semi-finished products from austenitic corrosion-resistant steel in form of 18-8 steel or 18-10 steel, and can be used for production of structural elements. Performing hot forging of steel workpieces at temperature of 1100 °C to true degree of deformation of  $0.7 < \epsilon < 0.8$  with subsequent cooling in water. Then, forged steel billets are subjected to high-temperature annealing at

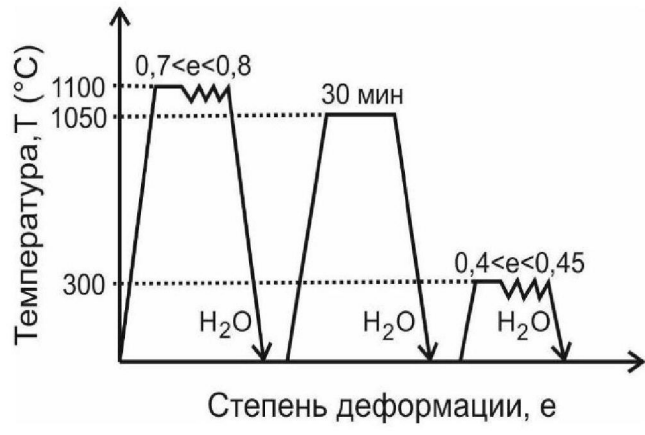
temperature of 1050 °C for 30 minutes with cooling in water. Produced billets are subjected to said sheet rolling at temperature of 300 °C to true degree of deformation of  $0.4 < \epsilon < 0.45$ .

EFFECT: obtaining rolled semi-products from austenitic corrosion-resistant steel, having simultaneously high plasticity and viscosity combined with high strength while maintaining corrosion resistance at temperature of 20 °C to minus 60 °C.

1 cl, 2 ex, 1 tbl, 3 dwg

RU 2 735 777 C1

RU 2 735 777 C1



Фиг.1

Изобретение относится к области металлургии, а именно к термомеханической обработке аустенитных коррозионностойких сталей. Изобретение может быть применено для изготовления элементов строительных конструкций различных отраслей, включая судостроение и морские сооружения.

5 В судостроении возрастает использование аустенитных азотсодержащих сталей. Примерами таких сталей является немецкая корпусная сталь 1.3964 (03X20H16Г5М3АБ) и российская сталь марки НС-5Т (04Х20Н14Г6М2АСБ). Использование азота для легирования аустенитных сталей обусловлено тем, что азот позволяет повысить прочностные свойства при сохранении высокой вязкости и пластичности. Так, например, 10 немецкая сталь 1.3964 демонстрирует предел текучести  $\sigma_{0,2} \geq 430$  МПа, ударную вязкость  $KCU^{20} \geq 70$  Дж/см<sup>2</sup> и высокую сопротивляемость к коррозионному растрескиванию в морской воде. Разработанная технология термической обработки российской стали марки НС-5Т по температурно-скоростному режиму 1050–1150°C (не менее 2–4 мин/мм в проходных печах с охлаждением в воде) обеспечивает стабильную аустенитную 15 структуру без выделений карбидов (карбонитридов), высокую коррозионную стойкость, ударную вязкость на уровне  $KCV^{20} \sim 150\text{--}250$  Дж/см<sup>2</sup> и предел текучести  $\sigma_{0,2} = 400\text{--}500$  МПа (Горынин И. В., Малышевский В. А., Калинин Г. Ю., Мушникова С. Ю., Банных О. А., Блинов В. М., Костина М. В. Коррозионно-стойкие высокопрочные азотистые стали // Вопросы материаловедения – 2009 – № 3 – с.7 – 16).

Стоит отметить, что способы получения этих сталей обеспечивают заданный комплекс свойств за счет высокого содержания никеля в диапазоне 14 - 16%, легирования дорогостоящим молибденом порядка 2 - 3% и введения азота. Однако хорошее сочетание 25 механических свойств  $\sigma_{0,2} \approx 650$  МПа, относительное удлинение  $\delta \approx 50\%$ ,  $KCU^{20} \approx 100$  Дж/см<sup>2</sup> при сохранении коррозионной стойкости может быть достигнуто на более экономно легированных аустенитных хромоникелевых сталях типа 18–8 или 18–10, содержащей не более 10% никеля и дополнительно не легированной молибденом и азотом в результате правильно подобранного технологического процесса 30 термомеханической обработки.

Известен способ термомеханической обработки аустенитной стали типа 18–8 (патент RU №2525006, опубл. 10.08.2014). В этом способе приведен пример обработки аустенитной коррозионностойкой стали 10X18H8ДЗБР путем прокатки в интервале температур  $T = 673\text{--}973$  К, что соответствует 400–700°C до истинной степени деформации 35 от 0.5 до 1 с последующим отжигом в интервале температур  $T = 673\text{--}873$  К, что соответствует 400–600°C, на втором этапе проводят прокатку в интервале температур  $T = 673\text{--}773$  К, что соответствует 400–500°C до истинной степени деформации  $e > 2$  с последующим охлаждением на воздухе. Деформация ведется в аустенитной области, поэтому аустенитная структура полностью сохраняется, однако использование 40 относительно высоких степеней деформации приводит к снижению пластичности  $\delta < 10\%$ .

Известен способ получения катаных полуфабрикатов с субмикроструктурной структурой из аустенитной стали типа 18–8 (08X18H10Т) по патенту RU 2598744, (опубл. 27.09.2016), который включает нагрев листа стали до температуры 1100°C с выдержкой 1 час с последующей закалкой в воду. Низкотемпературную прокатку проводят за 45 несколько проходов до истинной логарифмической степени деформации  $e = 0.1\text{--}0.2$ . Между проходами заготовку выдерживают при температуре кипения жидкого азота  $T = 77$  К. Затем производят нагрев до температур  $T = 673\text{--}973$  К, и осуществляют пластическую деформацию прокаткой за один или два прохода с общей степенью

логарифмической деформации  $\epsilon \leq 0.5$  с последующим охлаждением в воде. После тепловой деформации осуществляются отжиги в интервале температур  $T=673-1073$  К, что соответствует  $600-800^\circ\text{C}$ , с временем выдержки от 200 с до 1 ч с последующим охлаждением на воздухе. Способ позволяет получить субмикроструктурную структуру с регламентированной высокой до 95% объемной долей аустенита. Полученные катаные полуфабрикаты обладают высокими прочностными свойствами: предел прочности составил 1115-1130 МПа после термомеханической обработки, включающей прокатку с охлаждением в жидком азоте  $\epsilon \approx 17\%$ ; прокатку при  $T = 600^\circ\text{C}$   $\epsilon \approx 40\%$  с последующим отпуском при  $T = 600^\circ\text{C}$  в течение 1 часа при сохранении достаточного запаса пластичности  $\delta = 12-15\%$ . Недостатком данного способа является то, что он включает прокатку и отжиг при температуре  $600^\circ\text{C}$ , что может привести к потере стойкости к межкристаллитной коррозии (МКК) в результате выделения карбидов хрома  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , так как как указано в ГОСТ 6032-2017: «МКК обусловлена обеднением границ зерен хромом в результате выпадения по границам зерен богатых хромом фаз: карбидов хрома,  $\sigma$ -фазы, интерметаллических включений при выдержке сталей или сплавов при температуре  $500^\circ\text{C}-1000^\circ\text{C}$ ». Технологический процесс обработки жидким азотом связан с дополнительными экономическими затратами, а также накладывает ограничения на размеры получаемых катаных полуфабрикатов. Кроме того, не обеспечивается полностью аустенитная структура (объемная доля аустенита до 95%). А также в прототипе отсутствуют данные по свойствам при отрицательных температурах, однако выделения карбидов хрома служат концентраторами напряжений, что может привести к снижению вязкости особенно при низких температурах.

Наиболее близким аналогом выбран способ получения катаных листовых полуфабрикатов из аустенитной коррозионностойкой стали по патенту РФ № 2584315. Задачей предлагаемого изобретения является расширение арсенала способов получения катаных полуфабрикатов из аустенитных коррозионностойких сталей при помощи термомеханической обработки.

Техническим результатом изобретения является получение катаных полуфабрикатов из аустенитной коррозионностойкой стали, которые одновременно демонстрируют высокую пластичность и вязкость в сочетании с повышенной прочностью при сохранении коррозионной стойкости при температуре от 20 до минус  $60^\circ\text{C}$ .

Для достижения технического результата предложен способ получения катаных листовых полуфабрикатов из аустенитной коррозионностойкой стали в виде стали типа 18-8 или стали типа 18-10, включающий листовую прокатку стальных заготовок с последующим охлаждением в воде, при этом стальные заготовки подвергают горячей ковке при температуре  $1100^\circ\text{C}$  до истинной степени деформации  $0,7 < \epsilon < 0,8$  с последующим охлаждением в воде; затем кованные стальные заготовки подвергают высокотемпературному отжигу при температуре  $1050^\circ\text{C}$  в течение 30 минут с охлаждением в воде, после чего полученные заготовки подвергают упомянутой листовой прокатке при температуре  $300^\circ\text{C}$  до истинной степени деформации  $0,4 < \epsilon < 0,45$ .

Предварительная горячая ковка при температуре  $1100^\circ\text{C}$  до истинной степени деформации  $0,7 < \epsilon < 0,8$  с последующим охлаждением в воде позволяет зафиксировать  $\gamma$  - твердый раствор без выделения карбидов  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , что обеспечивает наилучшие коррозионные свойства.

Высокотемпературный отжиг при температуре  $1050^\circ\text{C}$  в течение 30 минут с последующим охлаждением в воде позволяет сформировать однородную микроструктуру со средним размером зерен 20-30 мкм и однородным распределением легирующих элементов.

Пластическая деформация методом листовой прокатки при температуре 300°С до истинной степени деформации  $0,4 < \epsilon < 0,45$  с последующим охлаждением в воде позволяет исключить протекание мартенситного превращения и сформировать деформационно-наклепанную однофазную аустенитную структуру с высокой плотностью дислокаций

5  $\sim 10^{14} \text{ м}^{-2}$  и сеткой малоугловых границ, обеспечивающую прирост прочности. Такая однофазная  $\gamma$ -структура с высокой плотностью дислокаций также обеспечивает высокую пластичность при растяжении, пластическое течение имеет равномерный характер на протяжении большой степени деформации за счет реализации TRIP - эффекта (Transformation-Induced Plasticity - пластичность, наведенная превращением).

10 Из уровня техники неизвестна предложенная совокупность признаков, обеспечивающая достижение заявленного технического результата, следовательно, заявленное изобретение соответствует условию новизны и изобретательский уровень. Соответствие условию промышленной применимости приведено в конкретном примере выполнения заявленного технического решения.

15 Предполагаемое изобретение поясняют следующие графические материалы:

Фиг. 1 - Схема термомеханической обработки аустенитной коррозионностойкой стали типа 03X18H10, где  $\epsilon$  - истинная степень деформации.

20 Фиг. 2 - Изображения микроструктуры (а) и фазового состава (б) аустенитной коррозионностойкой стали типа 03X18H10 после ТМО, полученные на растровом электронном микроскопе, где ВУГ - высокоугловые границы, МУГ - малоугловые границы.

25 Фиг. 3 - Инженерные кривые напряжение-деформация (а) и кривые нагрузка-прогиб (б) аустенитной коррозионностойкой стали типа 03X18H10 после ТМО, где НП - направление прокатки, НН - направление нормали к плоскости прокатки, ПН - поперечное направление.

Пример осуществления 1:

30 В примере осуществления использовали аустенитную коррозионностойкую сталь типа 03X18H10 с содержанием масс. %: 0.05%С, 0.4%Si, 1.7%Mn, 8.8%Ni, 18.2%Cr, 0.04%Nb, 0.2%Co, 0.05%P, 0.04%S, Fe - остальное, которую на первом этапе подвергали горячей ковке при температуре 1100°С до истинной степени деформации  $0,7 < \epsilon < 0,8$  с охлаждением в воде. В результате чего были получены заготовки аустенитной коррозионностойкой стали квадратного сечения. На втором этапе кованные заготовки подвергали высокотемпературному отжигу при температуре 1050°С в течение 30 минут с охлаждением в воду. На третьем этапе отожженные заготовки подвергали листовой

35 прокатке при температуре 300°С до истинной степени деформации  $0,4 < \epsilon < 0,45$  с быстрым охлаждением в воде для исключения протекания процессов возврата, в результате были получены катаные полуфабрикаты коррозионностойкой стали с однофазной аустенитной структурой и высокой плотностью дислокаций  $10^{14} \text{ м}^{-2}$ . Предел текучести катаных полуфабрикатов составил около 650 МПа, относительное удлинение  $\delta \approx 50\%$ , ударная вязкость КСУ  $\approx 100-150 \text{ Дж/см}^2$  при температурах испытания 20°С и минус

40 60°С.

Пример осуществления 2:

45 Механические испытания на растяжение проводили по ГОСТ 1497-84 на плоских образцах с длиной рабочей части 16 мм и начальной площадью поперечного сечения рабочей части  $F_0 = 1,5 \times 3 \text{ мм}^2$ . Ось растяжения параллельна направлению прокатки.

Испытания на ударный изгиб проводили по ГОСТ 9454-78 на образцах с U-образным концентратором, длиной  $L=55 \text{ мм}$ , шириной  $B=2 \text{ мм}$ , высотой  $H=8 \text{ мм}$ , высотой рабочего

сечения  $H1=6$  мм. Направление удара маятникового копра параллельно направлению нормали к плоскости прокатки.

Испытания по определению стойкости к МКК проводили по ГОСТ 9.914 - 91 методом потенциодинамической реактивации. Стойкость к МКК оценивали по соотношению максимальной плотности тока реактивации ( $j_{\max}$  реак) к максимальной плотности тока пассивации ( $j_{\max}$  пасс). При соотношении  $j_{\max}$  реак /  $j_{\max}$  пасс  $< 0,11$  - образец считается стойким к МКК, при соотношении  $j_{\max}$  реак /  $j_{\max}$  пасс  $\leq 0,11$  - образец считается склонным к МКК.

Достижимый технический результат для аустенитной коррозионностойкой стали типа 03X18H10 подтверждается данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Механические и коррозионные свойства аустенитной коррозионностойкой стали типа 03X18H10 до и после предложенной термомеханической обработки (ТМО)

	Температура испытания	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Показатель стойкости к МКК  $j_{\max}$ реак / $j_{\max}$ пасс
Образец до ТМО	20°C	200	600	100	150	0
Образец после ТМО	20°C	650	760	50	100	0,02
Образец после ТМО	минус 60°C	650	1100	50	150	-

Предложенный способ получения катаных полуфабрикатов может быть применен для аустенитных сталей типа 18-8 и 18-10, которые имеют энергию дефекта упаковки (ЭДУ) близкую к ЭДУ стали 03X18H10, используемой в примере осуществления, так как именно ЭДУ влияет на механизмы формирования структуры и, как следствие, на механические свойства. ЭДУ зависит от химического состава и может быть рассчитана с помощью эмпирического уравнения, предложенного для аустенитных сталей, ЭДУ (мДж/м<sup>2</sup>) =  $-53 + 6.2\%Ni + 0.7\%Cr + 3.2\%Mn + 9.3\%Mo$  (R.E. Schramm, R.P. Reed, Metallurgical Transactions A 6 (1975) 1345).

Реализация предлагаемого способа в промышленном производстве за счет исключения обработки жидким азотом не обременена дополнительными экономическими затратами, а также не ограничивает размеры получаемых катаных полуфабрикатов из аустенитной коррозионностойкой стали типа 18-8 или 18-10, но при этом обеспечивает в них хорошее сочетание прочности, пластичности и вязкости наряду с хорошей стойкостью к МКК, при температурах от 20°C до минус 60°C, благодаря чему могут быть использованы в качестве конструкционного материала в различных отраслях промышленности, в том числе и в судостроении.

#### (57) Формула изобретения

Способ получения катаных листовых полуфабрикатов из аустенитной коррозионностойкой стали в виде стали типа 18-8 или стали типа 18-10, включающий листовую прокатку стальных заготовок с последующим охлаждением в воде, отличающийся тем, что стальные заготовки подвергают горячей ковке при температуре



1100°C до истинной степени деформации  $0,7 < \epsilon < 0,8$  с последующим охлаждением в воде, затем кованные стальные заготовки подвергают высокотемпературному отжигу при температуре 1050°C в течение 30 минут с охлаждением в воде, после чего полученные заготовки подвергают упомянутой листовой прокатке при температуре 300°C до  
5 истинной степени деформации  $0,4 < \epsilon < 0,45$ .

10

15

20

25

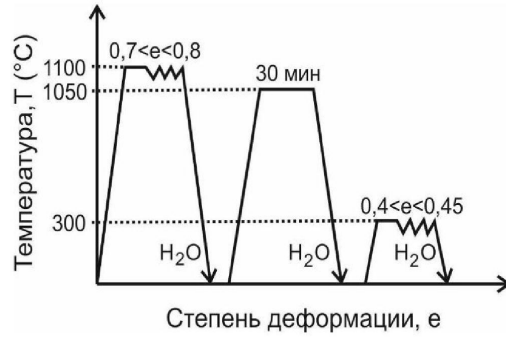
30

35

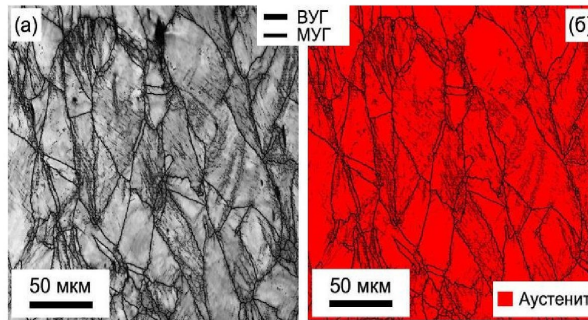
40

45

1

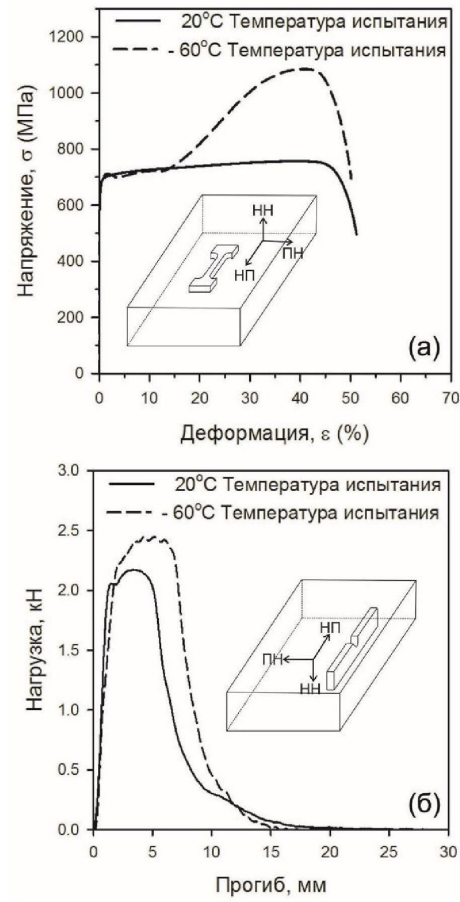


Фиг.1



Фиг.2

2



Фиг.3