



(51) МПК  
*C21D 8/00* (2006.01)  
*B82B 3/00* (2006.01)  
*C21D 6/00* (2006.01)  
*B21J 1/04* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015143744, 13.10.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 13.10.2015

Дата регистрации:  
 21.02.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.10.2015

(45) Опубликовано: 21.02.2017 Бюл. № 6

Адрес для переписки:  
 308015, обл. Белгородская, г. Белгород, ул.  
 Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Цуриковой  
 Н.Д.

(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 2525006C1, 10.08.2014. SU  
 499328 A1, 15.01.1976. WO 2014163798 A1,  
 09.10.2014. US 6764647 B2, 20.07.2004.

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ПРОКАТА АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ  
 СТАЛИ С НАНОСТРУКТУРОЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, преимущественно к обработке металлов давлением, а именно к технологии получения высокопрочного проката аустенитной нержавеющей стали с нанокристаллической структурой, который может быть использован в качестве конструкционного материала. Способ изготовления проката включает горячую ковку при температуре 1373 К до истинной степени деформации  $\epsilon=0,5$  с последующим охлаждением

в воде, полученные заготовки подвергают теплой прокатке в лист до истинной степени деформации  $\epsilon=3$  при температуре 473-673 К, которая исключает протекание мартенситного превращения. Технический результат заключается в получении проката аустенитной нержавеющей стали с нанокристаллической структурой и повышенными прочностными свойствами, предел текучести составляет более 1000 МПа. 2 ил., 1 табл.

RU 2 611 252 C1

RU 2 611 252 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C21D 8/00* (2006.01)  
*B82B 3/00* (2006.01)  
*C21D 6/00* (2006.01)  
*B21J 1/04* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015143744, 13.10.2015

(24) Effective date for property rights:  
13.10.2015

Registration date:  
21.02.2017

Priority:

(22) Date of filing: 13.10.2015

(45) Date of publication: 21.02.2017 Bull. № 6

Mail address:

308015, obl. Belgorodskaya, g. Belgorod, ul. Pobedy,  
85, NIU "BelGU", OIS, Tsurikovoj N.D.

(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 HIGH-STRENGTH ROLLED PRODUCT OF AUSTENITE STAINLESS STEEL WITH NANOSTRUCTURE**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy, particularly, to metal forming, specifically to production of high-strength rolled product of austenite stainless steel with a nanocrystalline structure, which can be used as structural material. Method of making rolled product comprises hot forging at 1,373 K to true straining  $\epsilon=0.5$  with subsequent cooling in water, obtained semi-

products undergo warm rolling into a sheet to true straining  $\epsilon=3$  at 473–673 K, which prevents martensitic transformation.

EFFECT: technical result consists in production of rolled product of austenite stainless steel with nanocrystalline structure and improved strength properties, yield strength is more than 1,000 MPa.

1 cl, 2 dwg, 1 tbl

RU 2 611 252 C1

RU 2 611 252 C1

Изобретение относится к области металлургии, преимущественно к обработке металлов давлением, а именно к технологии получения высокопрочного проката сталей аустенитного класса с нанокристаллической структурой для использования его в качестве конструкционного материала.

5 Большинство аустенитных нержавеющей сталей после стандартной обработки на твердый раствор имеют крупнокристаллическую структуру и низкий предел текучести порядка 200 - 250 МПа (W.Martienssen and H.Warlimont, Springer Handbook of Condensed Matter and Materials Data, 2005), что сдерживает их применение в качестве конструкционного материала.

10 С целью повышения предела текучести за счет дисперсионного упрочнения аустенитные нержавеющей стали легируют карбидообразующими элементами, такими как ванадий, ниобий, титан, цирконий, гафний, тантал (К.Н.Ло, С.Н. Shek, J.K.L. Lai, Materials Science and Engineering R 65 (2009) 39–104).

15 Известен способ получения аустенитной высокопрочной стали за счет легирования ванадием, ниобием, углеродом и азотом. Данные элементы 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 (RU №2318068; публ. 27.02.2008). Однако введение в сталь дорогостоящих легирующих элементов приводит

20 к повышению ее себестоимости.

Повышение предела текучести в аустенитных нержавеющей сталях может быть обеспечено за счет структурного упрочнения, которое достигается в результате применения холодной деформационной обработки (К.Н.Ло, С.Н. Shek, J.K.L. Lai, Materials Science and Engineering R 65 (2009) 39–104). Известные способы получения сталей с

25 пределом текучести свыше 1100 МПа основаны на деформационной обработке с высокими степенями пластической деформации (RU №2252977; публ. 27.05.2005). Недостатком таких способов обработки является то, что структура полученной стали не является аустенитной. Удельная доля мартенсита деформации составляет более 50%. Поэтому, такие стали не могут рассматриваться как аустенитные, так как изменяются

30 их функциональные свойства. Обратное фазовое превращение при последующей термообработке способно восстановить аустенитную микроструктуру стали, но это неизбежно ведет к росту зерна до микронных значений и падению предела текучести.

Измельчение зерен с помощью горячей деформационной обработки позволяет поднять прочность аустенитных сталей за счет зернограницного упрочнения по закону Холла-Петча (V.G.Gavriljuk and H.Berns: High Nitrogen Steels, Springer-Verlag, Berlin, 1999, pp. 135-198; V.G. Gavriljuk, H. Berns, C. Escher, N.I. Glavatskaya, A. Sozinov, Yu.N. Petrov Materials Science and Engineering A271 (1999) 14–21). Однако чувствительность напряжений течений к размеру зерна в аустените в 2 раза меньше, чем в феррите, поэтому

35 эффективность этого метода не велика. Кроме того, размер зерна при использовании стандартных операций горячей деформации в интервале температур 1223-1373 К получается уменьшить только до 5 мкм. Для получения аустенитных сталей с наноструктурой часто применяют теплую деформационную обработку после горячей.

40

Известен способ, в котором предварительно закаленную заготовку подвергают многократной изотермической ковке с последовательным изменением оси ориентации

45 на 90° и понижением температуры на 80-150 К. При этом первую осадку проводят при температуре, лежащей в интервале 1223-1323 К. Истинная степень деформации за одну осадку должна быть не менее 0,4 при скорости деформации от 10<sup>-2</sup> до 10<sup>-1</sup> с<sup>-1</sup>. Две последние осадки проводят при температуре, лежащей в интервале 873-923 К. Затем

проводят отжиг заготовки при температуре, которая выше температуры двух последних осадков на  $\geq 50$  K (RU №2468093; публ. 27.11.2012).

5 Теплая пластическая обработка с большими степенями деформации является эффективным способом повышения прочностных свойств аустенитных коррозионно-стойких сталей. Себестоимость стали в этом случае зависит от способа деформационной обработки. На данный момент разработано большое количество специфических способов деформационной обработки, такие как дробление, кручение под высоким давлением, равноканальное угловое прессование (Y.Estrin and A.Vinogradov, Extreme grainre finement by severe plastic deformation: A wealth of challenging science, Acta Materialia, 10 61(2013) 782-817). Однако технологические трудности в реализации данных методов обработки затрудняют их промышленное применение. С другой стороны, традиционный метод обработки металлов давлением, такой как многократная прокатка, также может обеспечить большие пластические деформации.

15 Наиболее близким к предлагаемому изобретению является способ получения высокопрочной аустенитной нержавеющей стали, который включает предварительную пластическую деформацию за один или несколько проходов со степенью деформации не менее 40% при температуре, не превышающей температуру начала рекристаллизации, закалку на твердый раствор осуществляют при температуре не ниже 1020°C (1293 K), а окончательную пластическую деформацию проводят со степенью 30-70% при 20 температуре ниже температуры начала рекристаллизации не менее чем на 150°C (423 K) (RU №2254394; публ. 20.06.2005).

Недостатком данного способа обработки является то, что максимальная степень окончательной пластической деформации составляет  $\epsilon=1,2$  (70%), в результате чего предел текучести составил не более 1000 МПа, кроме того, в выбранный температурный 25 интервал окончательной пластической деформации входит комнатная температура, деформация при которой приведет к мартенситному превращению.

Задачей предлагаемого изобретения является разработка способа получения высокопрочного проката аустенитной нержавеющей стали с однородной наноструктурой, обеспечивающего повышение предела текучести выше 1000 МПа без 30 протекания мартенситного превращения.

Техническим результатом изобретения является:

- режим предварительной деформационно-термической обработки аустенитной нержавеющей стали, обеспечивающей формирование в стальной заготовке однородной мелкозернистой микроструктуры со средним размером зерна 10-20 мкм;
- 35 - режим теплой деформации, обеспечивающий получение высокопрочного проката аустенитной нержавеющей стали с нанокристаллической структурой;
- повышение предела текучести аустенитной нержавеющей стали.

Для решения поставленной задачи предложен способ термомеханической обработки аустенитной нержавеющей стали.

40 Данный способ включает:

- 1) предварительную горячую ковку при температуре 1373 K до истинной степени деформации  $\epsilon=0,5$  с последующим охлаждением в воде, что приводит к формированию однородной микроструктуры со средним размером зерен 10-20 мкм.
- 2) пластическую деформацию методом теплой прокатки в лист при температуре 473- 45 673 K до истинной степени деформации  $\epsilon=3$ , которая приводит к получению высокопрочного проката из аустенитной стали со средним размером зерен/субзерен порядка 160/80 нм, без протекания мартенситного превращения.

Технический результат заключается в получении проката аустенитной нержавеющей

стали с нанокристаллической структурой и повышенными прочностными свойствами (предел текучести более 1000 МПа).

Достижимый технический результат подтверждается данными, приведенными в таблице 1.

5 Таблица 1. Механические свойства аустенитной нержавеющей стали до ТМО и после ТМО

Температура испытания, К		293
10 Предел текучести, МПа	Образец после ТМО	1070
	Образец до ТМО	235
Предел прочности, МПа	Образец после ТМО	1175
	Образец до ТМО	585
Удлинение, %	Образец после ТМО	9,3
	Образец до ТМО	86

15 Механические испытания на растяжения проводились по ГОСТ 1497-84 при комнатной температуре.

Предполагаемое изобретение поясняют графические материалы:

На фиг. 1 представлена схема термомеханической обработки аустенитной нержавеющей стали, где  $\epsilon$  – истинная степень деформации.

20 На фиг. 2 изображена структура аустенитной нержавеющей стали после ТМО, полученная на просвечивающем электронном микроскопе.

Пример осуществления.

В примере осуществления использовали аустенитную нержавеющую сталь 03X17H12M2(AISI 316L), которую подвергали горячей ковке при температуре 1373 К до истинной степени деформации  $\epsilon=0,5$  с последующим охлаждением в воде. В результате 25 чего были получены заготовки аустенитных сталей квадратного сечения со средним размером зерна порядка 20 мкм. Данные заготовки подвергали теплой прокатке в лист при температуре 573 К до истинной степени деформации  $\epsilon=3$ , в результате которой был получен высокопрочный прокат аустенитной нержавеющей стали с наноструктурой 30 (размер зерен/субзерен около 160/80 нм). Предел текучести проката составил около 1070 МПа.

Таким образом, предложенный способ обеспечивает формирование нанокристаллической структуры без образования мартенсита в ходе деформации.

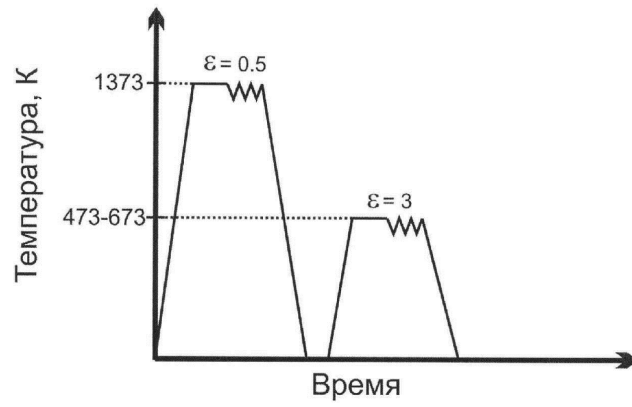
35 Реализация предлагаемого способа в промышленном производстве позволит получать прокат из аустенитных нержавеющих сталей с повышенными прочностными свойствами, которые могут быть использованы в качестве конструкционного материала.

#### (57) Формула изобретения

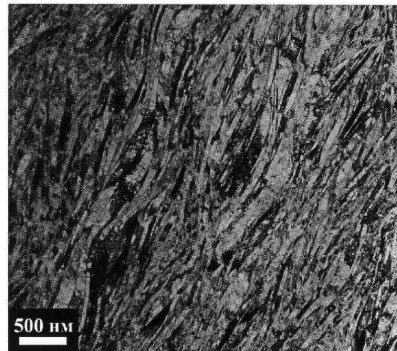
Способ получения высокопрочного проката из аустенитной нержавеющей стали с нанокристаллической структурой, включающий пластическую деформацию путем 40 прокатки, отличающийся тем, что предварительно сталь подвергают горячей ковке при температуре 1373 К до истинной степени деформации  $\epsilon=0,5$  с последующим охлаждением в воде, при этом полученную заготовку с однородной микроструктурой подвергают тепловой прокатке при температуре 473-673 К в лист до истинной степени деформации  $\epsilon=3$ .

45

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО  
ПРОКАТА АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ  
СТАЛИ С НАНОСТРУКТУРОЙ



Фиг. 1



Фиг. 2