



(51) МПК  
*C21D 8/00* (2006.01)  
*C21D 6/00* (2006.01)  
*C22C 38/58* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015149112, 17.11.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 17.11.2015

Дата регистрации:  
 10.05.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.11.2015

(45) Опубликовано: 10.05.2017 Бюл. № 13

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

(72) Автор(ы):

Беляков Андрей Николаевич (RU),  
 Кайбышев Рустам Оскарович (RU),  
 Янушкевич Жанна Чеславовна (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: US 20100258218 A1, 14.10.2010. RU  
 2033436 C1, 20.04.1995. RU 2073731 C1,  
 20.02.1997. RU 2074900 C1, 10.03.1997. SU  
 1518393 A1, 30.10.1989. SU 444819 A1,  
 30.09.1974.

(54) СПОСОБ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АУСТЕНИТНОЙ  
 ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к деформационно-термической обработке аустенитных высокомарганцевых сталей с TWIP-эффектом, и может быть применено в автомобилестроении для производства несущих конструкций автомобиля. Для получения оптимальной комбинации прочности и пластичности стали проводят предварительный гомогенизационный отжиг слитка из аустенитной стали, содержащей в химическом составе марганец не менее 15% и алюминий не менее 1,5%, при температуре 1223 - 1423К в течение 2 - 8 часов, многократную ковку слитка при температуре 1223 - 1423К с суммарной

истинной степенью деформации не менее 1.2. Послековки сталь подвергается гомогенизационному отжигу при 1223 - 1423К в течение 2 - 8 часов и последующей многократной горячей прокатке при 773 - 1423К с суммарной истинной степенью деформации не менее 2. Горячекатаную сталь подвергают отжигу в течение 1-2 часов при 1223 - 1423К, холодной деформации путем прокатки при температуре 293К до суммарной истинной степени не менее 3, с последующим рекристаллизационным отжигом в интервале температур 873 - 973К в течение 30 - 60 минут. 2 ил., 1 табл., 2 пр.

RU 2 618 678 C1

RU 2 618 678 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C21D 8/00* (2006.01)  
*C21D 6/00* (2006.01)  
*C22C 38/58* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2015149112, 17.11.2015**(24) Effective date for property rights:  
**17.11.2015**Registration date:  
**10.05.2017**

Priority:

(22) Date of filing: **17.11.2015**(45) Date of publication: **10.05.2017** Bull. № 13

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Belyakov Andrej Nikolaevich (RU),  
Kajbyshev Rustam Oskarovich (RU),  
Yanushkevich Zhanna Cheslavovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj  
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU  
"BelGU") (RU)**(54) **METHOD OF DEFORMATION-THERMAL PROCESSING OF AUSTENITIC HIGH-MANGANESE STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: homogenizing preannealing of austenitic steel ingot is carried out, containing not less than 15% of manganese and not less than 1.5% of aluminium in the chemical composition, at a temperature of 1223-1423°K for 2-8 hours, repeated forging of the ingot at a temperature of 1223-1423°K with true total deformation ratio of not less than 1.2. After forging, the steel is subjected to a homogenizing annealing at 1223-1423°K for 2-8 hours and subsequent

repeated hot rolling at 773-1423°K with true total deformation ratio of not less than 2. Hot-rolled steel is subjected to annealing for 1-2 hours at 1223-1423°K, cold deformation by rolling at a temperature of 293°K to the true total ratio of not less than 3, followed by recrystallization annealing in the temperature range of 873-973°K for 30-60 minutes.

EFFECT: obtaining an optimum combination of strength and ductility of the steel.

2 dwg, 1 tbl, 2 ex

Изобретение относится к области металлургии, а именно к деформационно-термической обработке аустенитных высокомарганцевых сталей, и может быть применено в автомобилестроении для производства несущих конструкций автомобиля.

Высокомарганцевые аустенитные стали с TWIP эффектом (twinning induced plasticity – пластичность наведенная двойникованием) являются одними из наиболее перспективных материалов, используемых в автомобильной промышленности. Стали данного класса чрезвычайно пластичны и характеризуются высоким уровнем деформационного упрочнения, что делает их привлекательными для широкого применения в автомобильной промышленности. Очень большое деформационное упрочнение обеспечивается за счет деформационного двойникования, которое приводит к структурному упрочнению по закону Холла-Петча, и деформационного упрочнения благодаря росту плотности дислокаций при деформации [C.M. Young, O.D. Sherby. Sub-Grain Formation and Sub-Grain-Boundary Strengthening in Fe-Based Materials. J. Iron Steel Inst. 211 (1973) 640]. Таким образом, существенного повышения предела текучести сталей данного класса можно добиться в результате холодной пластической обработки. Однако повышение прочности в этом случае сопровождается падением пластичности. Сохранение достаточно высокого уровня пластичности и увеличение прочности может быть достигнуто за счет формирования в стали ультрамелкозернистой структуры, которая может быть получена в результате специальной деформационно-термической обработки, сочетающей холодную деформацию и отжиг [Y. Estrin, A. Vinogradov. Extreme grain refinement by severe plastic deformation: A wealth of challenging science. Acta Mater. 61 (2013) 782 - 817].

Известен способ получения горячекатаной полосы из хорошо деформируемой в холодном состоянии, высокопрочной аустенитной стали для легких конструкций с высоким содержанием марганца, алюминия и кремния, а также обладающей TWIP эффектом (Патент RU2335358, опубликованный 10.10.2008). Сущность способа заключается в том, что сталь для легких конструкций разливают на машине непрерывной разливки в непрерывную заготовку, а затем разделяют в слябы и прокатывают до конечной толщины. Разливают заготовку на машине непрерывной разливки тонких слябов с применением литейного порошка, затем делят на слябы, после окончания кристаллизации и разделения непрерывной заготовки на слябы осуществляют выравнивание температуры сляба в промежуточной печи, затем сляб без промежуточного охлаждения подвергают горячей прокатке. Недостатком данного метода является необходимость применения специализированного и энергозатратного оборудования, включающего CSP (CSP – производство тонких слябов) литейную установку, содержащую машину непрерывной разливки, промежуточную печь, которая является печью с роликовым подом, и прокатный стан. Также горячая прокатка не обеспечивает должного уровня механических свойств, сталь после данной обработки имеет низкий предел текучести.

В публикации D. P. Escobar и др. «Martensite reversion and texture formation in 17Mn-0.06C TRIP/TWIP steel after hot cold rolling and annealing», J Mater Res Technol. (2014), т. 4, в. 2, стр.162-170, была исследована высокомарганцевая сталь с TWIP/TRIP эффектом (TRIP – пластичность наведенная мартенситным превращением), содержащая в химическом составе Si и Al, подвергнутая холодной прокатке и рекристаллизационному отжигу. В данном исследовании было показано, что после деформационно-термической обработки предел текучести достигает 650 МПа, предел прочности 950 МПа и относительное удлинение составляет 45%. Обработка стали предложенным способом обеспечивает высокие показатели прочности, однако не обеспечивает достаточную пластичность.

Химический состав представленной в данной публикации стали обеспечивает энергию дефекта упаковки, соответствующую сталям с TRIP-эффектом, которые характеризуются повышенными прочностными свойствами, однако свойства стали после предложенной обработки не достигают должного уровня.

5 Наиболее близкий к предложенному изобретению способ, принятый за прототип, описан в патенте США №20100258218, опубликованном 14.10.2010 году. Способ получения высокопрочных листов TWIP стали, имеющей химический состав, вес. %: углерод (C) 0.15-0.30, кремний (Si) 0.01-0.03, марганец (Mn) 15-25, алюминий (Al) 1.2 – 3.0, фосфор (P) менее 0.020, сера (S) 0.001-0.002 и титан (Ti) 4.0-5.0, включает холодную  
10 прокатку горячекатаных стальных листов, с последующим отжигом. Стальные заготовки после литья подвергаются горячей прокатке с 1100~1300°C (1373~1573K) до 850~950°C (1123~1223K) с последующим охлаждением на воздухе с 850 ~950°C до 650~750°C со скоростью охлаждения 35~45°C/c (308~318K/c) с целью получения в TWIP стали высоких прочностных показателей. Горячекатаные листы подвергались холодной прокатке и  
15 последующему рекристаллизационному отжигу при температуре 700~900°C (973~1173K) в течение 3~5 минут. Такая деформационно-термическая обработка позволила получить микроструктуру со средним размером зерен 2.1 мкм и предел текучести составил 550 МПа.

Описанный способ обработки не приводит к получению ультрамелкозернистой  
20 структуры, что в свою очередь не обеспечивает требуемый уровень механических свойств, предъявляемых к материалам для изготовления ответственных деталей автомобилей.

Задачей предлагаемого изобретения является разработка способа деформационно-термической обработки аустенитных высокомарганцевых сталей с TWIP эффектом,  
25 содержащих в химическом составе марганец не менее 15% и алюминий не менее 1.5%, позволяющего получить оптимальную комбинацию прочности и пластичности в данных сталях.

Технический результат заключается в том, что:

- холодная пластическая обработка методом прокатки обеспечивает интенсивное  
30 деформационное упрочнение за счет обширного деформационного двойникования и формирования полос сдвига;

- последующий рекристаллизационный отжиг позволяет получить ультрамелкозернистую структуру со средним размером зерен менее 1 мкм, что способствует получению повышенных прочностных характеристик, при сохранении  
35 высоких значений пластичности.

Поставленная задача решается предложенным способом деформационно-термической обработки аустенитной высокомарганцевой стали с содержанием марганца более 15% и алюминия не менее 1.5% и обладающей TWIP-эффектом, который включает: предварительную термообработку, состоящую из гомогенизационного отжига при  
40 температуре 1223 - 1423K в течение 2 - 8 часов, многократную ковку при температуре 1223 – 1423K. Суммарная истинная степень деформации после ковки не менее 1.2. После достижения необходимой степени деформации сталь подвергается гомогенизационному отжигу при температуре 1223 - 1423K в течение 2 - 8 часов, с последующей многократной горячей прокаткой при температуре 773 – 1423K, суммарная истинная степень  
45 деформации не менее 2. После горячей прокатки сталь подвергают отжигу в течение 1-2 часов при температуре 1223 - 1423K. Далее сталь подвергают холодной деформации методом прокатки при температуре 293K до суммарной истинной степени не менее 3, с последующим рекристаллизационным отжигом в интервале температур 873 - 973K в

течение 30 – 60 минут.

Примеры осуществления

Пример 1. Лист высокомарганцевой стали Fe - 0,3%С - 17%Mn - 1,5%Al был подвергнут термообработке. Сначала исходный материал в литом состоянии в виде  
 5 слитка размерами 140x140x140 мм<sup>3</sup> был подвергнут гомогенизационному отжигу в печи при температуре 1423К в течение 4-х часов. Затем этот слиток был прокован при температуре 1423К в три ступени: 140 мм → 100 мм, 100 мм → 70 мм, 70 мм → 50 мм, суммарная истинная степень деформации составила 1. После этого материал опять был  
 10 подвергнут гомогенизационному отжигу в печи при температуре 1423К в течение 4-х часов. Следующей стадией была прокатка в интервале температур 773 – 1423К в 5 проходов: 50 мм → 34 мм, 34 мм → 25 мм, 25 мм → 17 мм, 17 мм → 13 мм, 13 мм → 10 мм, суммарная истинная деформация составила 1.6. Все стадии прокатки проводились без промежуточного нагревания. После прокатки сталь была подвергнута отжигу в течение  
 15 1 часа при температуре 1423К. Затем заготовка стали была подвергнута холодной прокатке при температуре 293К, после 4 проходов суммарная истинная степень деформации составила 3. Прокатанная заготовка стали была подвергнута рекристаллизационному отжигу при температуре 873К в течение 1 часа. После представленной обработки средний размер зерен составил 0.85 мкм.

Данный пример характеризуют следующие графические материалы:

20 Фиг. 1 – схема деформационно-термической обработки аустенитной высокомарганцевой TWIP стали, где  $\epsilon$  - истинная степень деформации.

Фиг. 2 – микроструктура стали, подвергнутой холодной прокатке до истинной степени деформации 3 и отжигу при температуре 873К в течение 1 часа.

Пример 2. Отличающийся от примера 1 тем, что в качестве материала исследования  
 25 была использована высокомарганцевая сталь Fe - 0,3%С - 22%Mn - 1,5%Al и холодная прокатка проводилась до суммарной истинной степени деформации 1.6 с последующим рекристаллизационным отжигом при температуре 973К в течение 30 минут.

Из полученных стальных заготовок были вырезаны образцы для испытаний на  
 30 механические свойства, образцы вырезались вдоль направления прокатки. В таблице 1 представлены результаты механических испытаний образцов. Механические испытания на растяжения проводились по ГОСТ 1497-84 при комнатной температуре.

35 Таблица 1. Механические свойства и средний размер зерен аустенитных высокомарганцевых TWIP сталей, подвергнутых деформационно-термической обработке.

Способ деформационно-термической обработки	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение до разрушения, %	Средний размер зерен, мкм
Пример 1				
После гомогенизационного отжига и горячей прокатки	240	690	96	24
После холодной прокатки и рекристаллизационного отжига	620	1000	62	0.85
Пример 2				
После гомогенизационного отжига и горячей прокатки	235	660	67	24
После холодной прокатки и рекристаллизационного отжига	560	950	60	1.3

45 Таким образом, достигнута задача по разработке нового способа деформационно-термической обработки аустенитной стали с высоким содержанием марганца, алюминия и обладающей TWIP-эффектом. Предложенный способ обработки приводит к получению ультрамелкозернистой стали, отличающейся повышенными показателями прочности

и пластичности.

(57) Формула изобретения

5       Способ деформационно-термической обработки аустенитной стали с содержанием  
марганца более 15 мас.%, алюминия не менее 1,5 мас.% и обладающей TWIP-эффектом,  
включающий горячую прокатку стали, холодную прокатку и рекристаллизационный  
отжиг, отличающийся тем, что предварительно осуществляют гомогенизационный  
10       отжиг стали при температуре 1223 - 1423К в течение 2 - 8 часов с последующей ковкой  
при температуре 1223 - 1423К до суммарной истинной степени деформации не менее  
1,2, затем проводят гомогенизационный отжиг при температуре 1223 - 1423К в течение  
2-8 часов, многократную горячую прокатку в интервале температур 773 - 1423К до  
суммарной истинной степени деформации не менее 2, отжиг горячекатаной стали в  
15       течение 1-2 часов при температуре 1223 - 1423К и холодную прокатку при температуре  
293К до суммарной истинной степени не менее 3, при этом горячую прокатку стали  
проводят без промежуточного её нагрева, а рекристаллизационный отжиг после  
холодной прокатки ведут в интервале температур 873 - 973К в течение 30-60 минут.

20

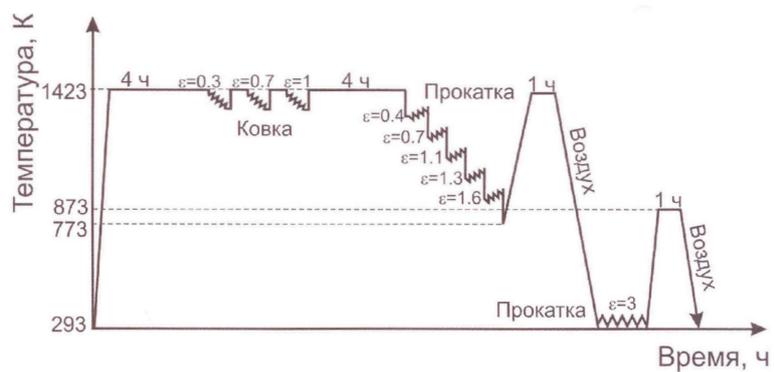
25

30

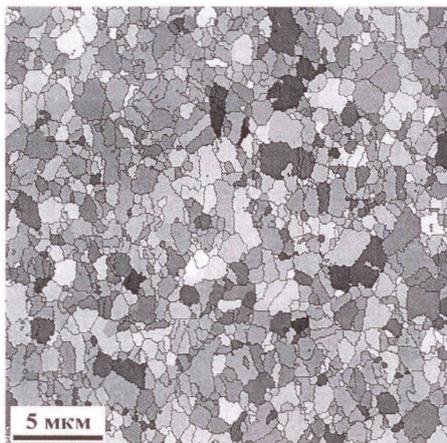
35

40

45

СПОСОБ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
АУСТЕНИТНОЙ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ

Фиг. 1



Фиг. 2