



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C21D 8/02 (2019.05); C21D 6/00 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018144688, 17.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
17.12.2018

Дата регистрации:  
06.08.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.12.2018

(45) Опубликовано: 06.08.2019 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Долженко Павел Дмитриевич (RU),  
Тихонова Марина Сергеевна (RU),  
Беляков Андрей Николаевич (RU),  
Кайбышев Рустам Оскарлович (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 2631069 C1, 18.09.2017. RU  
2618678 C1, 10.05.2017. RU 2074900 C1,  
10.03.1997. RU 2544970 C2, 20.03.2015. EP  
2778247 A1, 17.09.2014.

## (54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИСТОВ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ С УЛУЧШЕННЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, в частности к деформационно-термической обработке металлов, а точнее к способу получения листов из аустенитных высокомарганцевых TWIP сталей с энергией дефекта упаковки от 20 до 50 мДж/м<sup>2</sup>, и может быть использовано в автомобилестроении для производства несущих конструкций автомобилей. Способ включает гомогенизационный отжиг литой заготовки при температуре 1150°C в течение 1 часа с последующим охлаждением, последующую горячую прокатку при температуре 1150°C с суммарным обжатием 60±5% с охлаждением. Затем проводят вторую горячую прокатку при температуре 1100°C с суммарным

обжатием 60±5%, после которой осуществляют теплую прокатку в диапазоне температур 700-800°C с суммарным обжатием 60±5% и последующим охлаждением. Предлагаемый способ позволяет при сохранении пластичности высокомарганцевых сталей с энергией дефекта упаковки от 20 до 50 мДж/м<sup>2</sup> по параметру относительное удлинение до разрушения не менее 50% повысить прочность стали до значения не менее 1010 МПа за счет формирования структуры, способной к двойникованию, а также снизить нагрузку на валках прокатных станов с целью предотвращения излишнего износа оборудования.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C21D 8/02* (2006.01)  
*C21D 6/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C21D 8/02 (2019.05); C21D 6/00 (2019.05)*

(21)(22) Application: **2018144688, 17.12.2018**

(24) Effective date for property rights:  
**17.12.2018**

Registration date:  
**06.08.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **17.12.2018**

(45) Date of publication: **06.08.2019** Bull. № 22

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Dolzhenko Pavel Dmitrievich (RU),  
Tikhonova Marina Sergeevna (RU),  
Belyakov Andrej Nikolaevich (RU),  
Kajbyshev Rustam Oskarovich (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-MANGANESE STEEL SHEETS WITH IMPROVED MECHANICAL PROPERTIES**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy, in particular to deformation-thermal treatment of metals, and more specifically to a method of producing sheets from austenitic high-manganese TWIP steels with package defect energy of 20 to 50 mJ/m<sup>2</sup>, and can be used in automotive industry for production of vehicle bearing structures. Method includes homogenization annealing of cast billet at temperature of 1,150 °C for 1 hour with subsequent cooling, subsequent hot rolling at temperature of 1150°C with total reduction 60±5 % with cooling. Then second hot rolling is carried out at temperature of 1100°C with total reduction 60±5 %, after which hot rolling is carried out in the temperature range of 700–800 °C with total reduction 60±5 % and subsequent cooling.

after which hot rolling is carried out in the temperature range of 700–800 °C with total reduction 60±5 % and subsequent cooling.

EFFECT: disclosed method enables to maintain plasticity of high-manganese steels with package defect energy of 20 to 50 mJ/m<sup>2</sup> by parameter relative elongation to failure of not less than 50 % increases strength of steel to value of not less than 1,010 MPa due to formation of structure capable of twinning, as well as reduce load on rolls of rolling mills in order to prevent excessive wear of equipment.

1 cl

RU 2 696 789 C 1

RU 2 696 789 C 1

Изобретение относится к области металлургии, в частности к деформационно-термической обработке металлов (далее ДТО), а точнее к способу получения листов из аустенитных высокомарганцевых TWIP сталей с улучшенными прочностными характеристиками и может быть использовано в автомобилестроении для производства несущих конструкций автомобилей.

К материалам, используемым для создания силовых конструкций автомобилей, предъявляются высокие требования по пластичности и прочности с точки зрения технологической способности к глубокой вытяжке. Ресурс пластичности и величина деформационного упрочнения этих материалов должны быть достаточны для изготовления силовых элементов методом холодной вытяжки, а остаточный ресурс пластичности должен обеспечить абсорбцию энергии в случае возможного столкновения транспортных средств. Одними из наиболее перспективных материалов, используемых в автомобильной промышленности, являются высокомарганцевые аустенитные стали с TWIP эффектом (twinning induced plasticity – пластичность, наведенная двойникованием). Стали данного класса чрезвычайно пластичны и характеризуются высоким уровнем деформационного упрочнения, что делает их привлекательными для широкого применения в автомобильной промышленности. Деформационное двойникование, как и скольжение дислокаций в высокомарганцевых сталях, зависят от энергии дефекта упаковки (далее ЭДУ). Дефект упаковки образуется посредством диссоциации полной дислокации на две частичные дислокации Шокли, а энергия дефекта упаковки определяется из расстояния между этими частичными дислокациями: низкие значения ЭДУ соответствуют большому расстоянию расщепления, а высокие – малому. Фундаментальные принципы микроструктурного дизайна TWIP сталей заключаются в следующем: легирующие элементы обеспечивают значение ЭДУ в интервале от 20 до 50 мДж/м<sup>2</sup>. Таким образом, TWIP– эффект наблюдается в сталях с содержанием марганца от 17 до 30%, а также дополнительно содержащих в своем составе Al, Nb, Si и другие элементы. Применение высокомарганцевых сталей с TWIP эффектом позволяет существенно повысить надежность транспортных средств. К настоящему времени разработано достаточно большое количество сталей этого класса и способов их получения.

Известен способ деформационно-термической обработки высокомарганцевой стали патент РФ 2618678, который включает в себя гомогенизационный отжиг при температуре 950-1150°С в течение 2-8 часов, многократную ковку слитка при температуре 950-1150°С с суммарной истинной степенью деформации не менее 1.2. После ковки сталь подвергается гомогенизационному отжигу при 950 – 1050°С в течение 2-8 часов и последующей многократной горячей прокатке при 500 – 1150°С с суммарной истинной степенью деформации не менее 2. Горячекатаную сталь подвергают отжигу в течение 1-2 часов при 950 - 1150°С, холодной деформации путем прокатки при комнатной температуре до суммарной истинной степени деформации не менее 3, с последующим рекристаллизационным отжигом в интервале температур 500 – 700°С в течение 30 – 60 минут. Основными недостатками данного способа являются сложный многостадийный процесс получения конечного результата, а также включение стадии холодной прокатки с целью повышения прочности и последующий отжиг, который снижает прочность и повышает пластичность стали. В результате деформационно-термической обработки по предложенным режимам материал обладает низким уровнем механических свойств, что не соответствует современным требованиям, предъявляемым к материалам, применяемым в автомобилестроении.

Также известен способ получения листов из высокомарганцевых сталей с высокими

показателями ударопрочности, включающий в себя предварительный нагрев слитка в диапазоне температур 1050-1300°C в течение 1 часа, после чего термообработанный слиток подвергают горячей прокатке, при этом температура должна быть подобрана в диапазоне от 1000 до 1300°C. Далее данный лист прокатывают в холодную со степенью обжатия от 30 до 80% (US 2009/0074605 A1, 19.03.2009). Недостатком данного метода является включение дополнительной стадии холодной прокатки для получения высоких показателей прочностных характеристик, при этом существенно снижается пластичность. Так, например, увеличение предела прочности с 939,9 до 1371,3 МПа сопровождается резким снижением пластичности от 60,4 до 12,5% при 30% обжатия. Такие показатели пластичности не позволяют получать сложные детали методом глубокой вытяжки, что является основным требованием для сталей данного класса.

Существует наиболее близкий к предложенному изобретению способ ДТО, принятый за прототип, который описан в патенте РФ 2631069, заключающийся в гомогенизационном отжиге высокомарганцевой стали при 1050-1300°C, выдержке в течение 1 часа и охлаждении на воздухе, горячей прокатке заготовки в диапазоне от 1000 до 1300°C с обжатием 30-90%, а затем дополнительной теплой прокатке при температуре 500-700°C с обжатием 40-70%. Однако недостатком данного способа является слишком широкий диапазон температур, отведенный для предварительной выдержки и горячей прокатки заготовки, а точнее, нагрев заготовок по предложенному режиму в диапазоне температур 1200-1300°C может привести к пережогу материала и снижению механических свойств. После пережога материал подлежит только повторной переплавке, это ставит под сомнение возможность получения по предложенному режиму качественных заготовок для деталей автомобилей. Еще одним недостатком данного способа является использование узкой номенклатуры сталей с энергией дефекта упаковки от 15 до 20 мДж/м<sup>2</sup> для получения требуемых механических свойств, что делает невозможным принимать предложенное изобретение в качестве универсального способа обработки высокомарганцевых сталей с целью повышения их прочности и пластичности. А также в результате теплой прокатки при температуре ниже 700°C возможен излишний износ оборудования, а конкретнее, валков прокатных станов из-за того, что при понижении температуры прокатки нагрузка на валках возрастает, более того, это может повлечь за собой необходимость приобретения станов с более высокими рабочими характеристиками по нагрузке.

Задачей предлагаемого изобретения является расширение арсенала способов получения листов высокомарганцевых сталей с улучшенными механическими свойствами.

Технический результат заключается в сохранении пластичности не менее 50% наряду с повышением прочности до не менее 1010 МПа для высокомарганцевых сталей с энергией дефекта упаковки от 20 до 50 мДж/м<sup>2</sup>, за счет:

- формирования более однородной и равноосной структуры из-за динамической рекристаллизации высокомарганцевой стали в результате проведения второй горячей прокатки при температуре 1100°C с суммарным обжатием 60±5% за счет получения размеров зерен порядка 23±4 мкм;

- формирования структуры сплава, способной к двойникованию, в результате проведения теплой прокатки в диапазоне температур 700-800°C с суммарным обжатием 60±5%. В ходе теплой прокатки преимущественно проходят процессы динамического возврата, а в некоторых случаях полигонизации, в результате, образуются деформированные зерна, вытянутые вдоль направления прокатки со средним поперечным размером 11±4 мкм.

Дополнительный технический результат - снижение нагрузки на валках прокатных станов с целью предотвращения излишнего износа оборудования.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого универсального режима ДТО для высокомарганцевых сталей с энергией дефекта упаковки от 20 до 50 мДж/м<sup>2</sup>.

Предлагаемый режим ДТО высокомарганцевых сталей с энергией дефекта упаковки от 20 до 50 мДж/м<sup>2</sup>, включающий гомогенизационный отжиг литой заготовки при температуре 1150°С в течение 1 часа с последующим охлаждением, горячую прокатку при температуре 1150°С и суммарным обжатием в диапазоне 60±5% с последующим охлаждением и теплую прокатку с последующим охлаждением, в который внесены следующие новые признаки:

- после первой горячей прокатки дополнительно проводят вторую горячую прокатку при температуре 1100°С с суммарным обжатием 60±5%, что позволяет добиться более однородной и равноосной структуры сплава;

- после второй горячей прокатки проводят теплую прокатку в диапазоне температур 700-800°С с суммарным обжатием 60±5%.

Предлагаемый способ позволяет при сохранении пластичности высокомарганцевых сталей с энергией дефекта упаковки от 20 до 50 мДж/м<sup>2</sup> по параметру относительное удлинение до разрушения не менее 50%, повысить прочность стали до значения не менее 1010 МПа за счет формирования структуры, способной к двойникованию, а также снизить нагрузку на валках прокатных станов с целью предотвращения излишнего износа оборудования.

Способ осуществляют следующим образом.

Сначала проводят гомогенизационный отжиг литой заготовки высокомарганцевой сталей с энергией дефекта упаковки от 20 до 50 мДж/м<sup>2</sup> при температуре 1150°С в течение 1 часа с последующим охлаждением, первую горячую прокатку при температуре 1150°С и суммарным обжатием в диапазоне 60±5% с охлаждением, вторую горячую прокатку при температуре 1100°С с суммарным обжатием 60±5% и охлаждением, дальнейшую теплую прокатку в диапазоне температур 700-800°С с суммарным обжатием 60±5% и последующим охлаждением.

Примеры осуществления:

Пример 1. Заготовка высокомарганцевой стали 0,6%С-17%Mn-0,05%Nb-1,5%Al-Fe с энергией дефекта упаковки, равной 26 мДж/м<sup>2</sup>, была подвергнута деформационно-термической обработке по предлагаемому режиму.

Сначала слиток материала в исходном состоянии был подвергнут гомогенизационному отжигу при 1150°С в течение 1 часа с последующим охлаждением в воде. После чего из слитка вырезали заготовку для дальнейшей продольно-листовой прокатки. Заготовку закладывали в печь, проводили нагрев с печью до 1150°С, далее осуществляли горячую прокатку на холодных валках с суммарным обжатием 60±5%, по 10% за проход от предыдущей толщины. По окончании операции проводили удаление окалины. Полученная заготовка после первой горячей прокатки имела следующие механические свойства: предел прочности – 670 МПа, предел текучести – 365 МПа, относительное удлинение до разрушения – 54%. Затем заготовку помещали в печь и осуществляли нагрев с печью до 1100°С и проводили вторую горячую прокатку с суммарным обжатием 60±5%, по 10% за проход от предыдущей толщины. После удаления окалины по окончании операции заготовку закладывали в прогретую до 800°С печь и выдерживали для прогрева при заданной температуре из расчета 1 миллиметр толщины в минуту. Затем осуществляли теплую прокатку на холодных

валках с суммарным обжатием  $60\pm 5\%$ , по 10% за проход от предыдущей толщины. В результате механические свойства составили: предел прочности – 1010 МПа, предел текучести – 720 МПа, относительное удлинение до разрушения – 54%.

Пример 2. Отличается от примера 1 тем, что теплая прокатка проводится при температуре 700°C.

В результате механические свойства составили: предел прочности – 1100 МПа, предел текучести – 855 МПа, относительное удлинение до разрушения – 51%.

Пример 3. Заготовка высокомарганцевой стали  $0,74\%C-17\%Mn-Fe$  с энергией дефекта упаковки, равной  $20 \text{ мДж/м}^2$ , была подвергнута деформационно-термической обработке по предлагаемому режиму.

Сначала слиток материала в исходном состоянии был подвергнут гомогенизационному отжигу при  $1150^\circ\text{C}$  в течение 1 часа с последующим охлаждением в воде. После чего из слитка вырезали заготовку для дальнейшей продольно-листовой прокатки. Заготовку закладывали в печь, проводили нагрев с печью до  $1150^\circ\text{C}$ , далее осуществляли прокатку на холодных валках с суммарным обжатием  $60\pm 5\%$ , по 10% за проход от предыдущей толщины. По окончании операции проводили удаление окалины. Полученная заготовка после первой горячей прокатки имела следующие механические свойства: предел прочности – 990 МПа, предел текучести – 355 МПа, относительное удлинение до разрушения – 93%. Затем заготовку помещали в печь и осуществляли нагрев с печью до  $1100^\circ\text{C}$  и проводили прокатку с суммарным обжатием  $60\pm 5\%$ , по 10% за проход от предыдущей толщины. После удаления окалины по окончании операции заготовку закладывали в прогретую до  $800^\circ\text{C}$  печь и выдерживали для прогрева при заданной температуре из расчета 1 миллиметр толщины в минуту. Затем осуществляли прокатку на холодных валках с суммарным обжатием  $60\pm 5\%$ , по 10% за проход от предыдущей толщины. В результате механические свойства составили: предел прочности – 1240 МПа, предел текучести – 670 МПа, относительное удлинение до разрушения – 65 %.

Пример 4. Отличается от примера 3 тем, что теплая прокатка проводится при температуре 700°C.

В результате механические свойства составили: предел прочности – 1360 МПа, предел текучести – 840 МПа, относительное удлинение до разрушения – 52%.

Прокатку во всех примерах проводили на двухвалковом стане со скоростью 2 метра в минуту, диаметр валков составлял 350 мм. Охлаждение после гомогенизационного отжига, горячей и теплой прокатки проводили в воде для ускорения процесса получения конечного продукта.

Хотя в описании настоящего изобретения представлены не все возможные примеры его осуществления, однако, специалистам в данной области будет очевидно, что представленные примеры подтверждают достижение поставленной задачи по разработке способа получения листов высокомарганцевых сталей с энергией дефекта упаковки от 20 до  $50 \text{ мДж/м}^2$  с улучшенными механическими свойствами.

#### (57) Формула изобретения

Способ получения листов из высокомарганцевой стали с энергией дефекта упаковки от 20 до  $50 \text{ мДж/м}^2$ , включающий гомогенизационный отжиг литой заготовки при температуре  $1150^\circ\text{C}$  в течение 1 часа с последующим охлаждением, последующую горячую прокатку при температуре  $1150^\circ\text{C}$  с суммарным обжатием  $60\pm 5\%$  с охлаждением и теплую прокатку, отличающийся тем, что после упомянутой горячей прокатки

дополнительно проводят вторую горячую прокатку при температуре 1100°C с суммарным обжатием  $60\pm 5\%$ , после которой осуществляют теплую прокатку в диапазоне температур 700-800°C с суммарным обжатием  $60\pm 5\%$  с последующим охлаждением.

5

10

15

20

25

30

35

40

45