



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*B23K 20/12 (2023.08); B23K 20/22 (2023.08)*

(21)(22) Заявка: 2023109467, 13.04.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
13.04.2023

Дата регистрации:  
18.10.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.04.2023

(45) Опубликовано: 18.10.2023 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, НИУ  
"БелГУ", Шевцова Ирина Владимировна

(72) Автор(ы):

Мишнев Роман Владимирович (RU),  
Дудова Надежда Рузилевна (RU),  
Малофеев Сергей Сергеевич (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 2569271 C1, 20.11.2015. RU  
2610996 C2, 17.02.2017. RU 2637546 C1,  
05.12.2017. RU 2421313 C2, 20.06.2011. JP  
2012513306 A, 14.06.2012.

## (54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАРТЕНСИТНОЙ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к способу получения сварных соединений сваркой трением с перемешиванием для элементов из жаропрочной хромистой стали мартенситного класса, применяемой для изготовления элементов котлов и паропроводов, а также паровых турбин энергетических установок с рабочей температурой пара до 650°C. Способ получения сварных соединений мартенситной высокохромистой стали включает проведение сварки трением с перемешиванием с помощью инструмента, изготовленного из карбида

вольфрама. Скорость вращения инструмента при сварке составляет от 400 до 700 об/мин, скорость его подачи – от 25 до 150 мм/мин. После окончания сварки проводят нормализацию от температуры 1060°C и отпуск при температуре 770°C с выдержкой в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе. Способ обеспечивает формирование равнопрочного сварного соединения из мартенситной высокохромистой стали, измельчение структуры шва оказывает положительный эффект на кратковременные механические свойства сварного соединения. 1 табл., 3 пр.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*B23K 20/12* (2006.01)  
*B23K 20/22* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*B23K 20/12 (2023.08); B23K 20/22 (2023.08)*

(21)(22) Application: **2023109467, 13.04.2023**

(24) Effective date for property rights:  
**13.04.2023**

Registration date:  
**18.10.2023**

Priority:

(22) Date of filing: **13.04.2023**

(45) Date of publication: **18.10.2023 Bull. № 29**

Mail address:  
**308015, g. Belgorod, ul. Pobedy, 85, NIU "BelGU",  
Shevtsova Irina Vladimirovna**

(72) Inventor(s):

**Mishnev Roman Vladimirovich (RU),  
Dudova Nadezhda Ruzilevna (RU),  
Malofeev Sergei Sergeevich (RU),  
Kaibyshev Rustam Oskarovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia "Belgorodskii gosudarstvennyi  
natsionalnyi issledovatel'skii universitet" (NIU  
"BelGU") (RU)**

(54) **METHOD FOR PRODUCING WELDED JOINTS OF MARTENSITIC HIGH-CHROMIUM STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: method for producing welded joints by friction stir welding for elements made of heat-resistant chromium steel of the martensitic class used for the manufacture of elements of boilers and steam pipelines, as well as steam turbines of power plants with an operating steam temperature of up to 650°C. The method of producing welded joints of martensitic high-chromium steel includes friction stir welding using a tool made of tungsten carbide. The rotation speed of the tool during welding is from 400 to 700 rpm, its feed

speed is from 25 to 150 mm/min. After welding is completed, normalization is carried out from a temperature of 1060°C and tempering at a temperature of 770°C with exposure for 3 hours followed by cooling in the air.

EFFECT: formation of an equal-strength welded joint from martensitic high-chromium steel; atomization of the weld structure has a positive effect on the short-term mechanical properties of the welded joint.

1 cl, 1 tbl, 3 ex

RU 2 805 532 C1

RU 2 805 532 C1

Изобретение относится к области металлургии, а именно к способу получения сварных соединений сваркой трением с перемешиванием для элементов из жаропрочной хромистой стали мартенситного класса, применяемой для изготовления элементов котлов и паропроводов, а также паровых турбин энергетических установок с рабочей температурой пара до 650°C.

Традиционными методами сварки для данного класса сталей являются аргонодуговая сварка, сварка под флюсом, вольфрамо-дуговая сварка в среде защитного газа и сварка с покрытым электродом. Намного реже встречается электронно-лучевая сварка, при этом было обнаружено, что при таком способе сварки в модифицированных составах 9%Cr сталей возникает пористость, что предположительно, связано с высоким содержанием азота. Усовершенствованные методы сварки с низким подводом тепла, такие как электронно-лучевая сварка (EBW - electron-beam welding) и лазерная сварка (LBW-laser-beam welding), представляют собой альтернативные методы уменьшения ширины зоны термического влияния (ЗТВ), тем самым сводя к минимуму слабую зону сварного соединения. Учитывая существующие проблемы, связанные с использованием традиционной сварки плавлением, активно ведется разработка новых методов сварки высокохромистых мартенситно-ферритных сталей. Сварка трением с перемешиванием (СТП) как способ соединения относительно новый тип сварки для сталей, который имеет важное преимущество: в зоне сварного шва не происходит процессов плавления и затвердевания.

Сварка трением с перемешиванием (СТП) была разработана в Британском институте сварки в 1991 году как новый метод соединения материалов в твердофазном состоянии. По своей сути СТП является методом интенсивной пластической деформации. В процессе сварки трением с перемешиванием вращающийся инструмент, состоящий из плечиков и пина, внедряется встык между пластинами. Во время СТП, благодаря вращению и действию прижимной силы, обеспечивающей прилегание плечиков к материалу, происходит выработка тепла за счет сил трения. Это тепло разогревает материал пластин, что приводит к его размягчению вокруг сварочного инструмента. При движении инструмента пин осуществляет перенос и перемешивание материала. В процессе сварки материал подвергается интенсивной пластической деформации при повышенной температуре, в результате чего происходит формирование рекристаллизованной ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры. Несмотря на выделение большого количества тепла в процессе сварки трением с перемешиванием, расплавление материала не происходит. По сравнению с традиционными методами соединения материалов, сварка трением с перемешиванием обладает рядом преимуществ: - СТП является «зеленой» технологией благодаря низкому энергопотреблению и экологичности; - при СТП не используются защитные газы и флюсы, что делает ее безопаснее для оператора станка сварки, также не используются присадочные материалы; - метод не требует специальной подготовки поверхности перед сваркой; - метод также не требует использования специальных металлов наполнителей; - при помощи СТП можно успешно соединять не только трудносвариваемые материалы, но металлы в различных сочетаниях, а также соединять композитные материалы; - благодаря тому, что при СТП не происходит расплавление материала, шов не испытывает коробления, отсутствуют горячие поры и трещины.

Сварка трением с перемешиванием (СТП) представляет собой инновационную технологию получения сварных соединений в твердом виде, т.е. без перевода свариваемых материалов в расплав. Это позволяет избежать образования нежелательной литой структуры в зоне сварного шва. В результате, СТП обеспечивает получение

высококачественных сварных соединений даже в материалах, которые ранее считались непригодными для сваривания. Как следствие, данная технология имеет огромный практический потенциал и поэтому активно внедряется в производство такими признанными лидерами тяжелой индустрии как Boeing, Airbus, Lockheed-Martin, Mitsubishi, Hitachi, Kawasaki Heavy Industries и другими. В Российской Федерации СТП используется в ГКНПЦ им. Хруничева и некоторых других научных центрах и промышленных компаниях.

Стали являются одним из наиболее широко распространенных конструкционных материалов. Учитывая выдающиеся преимущества СТП, адаптация этой технологии для сварки сталей может иметь большое практическое значение. Первые эксперименты в этой области показали, что пластическое течение в ходе СТП углеродистых сталей обычно осуществляется в высокотемпературной аустенитной области, а конечная микроструктура сварного шва формируется в ходе мартенситного превращения при охлаждении материала до комнатной температуры. Таким образом, служебные свойства сварных соединений определяются свойствами мартенситной микроструктуры шва.

Мартенситные высокохромистые стали характеризуются наличием структуры троостита отпуска с высокой плотностью дислокаций и используются в неравновесном состоянии. Материалы данного типа очень чувствительны к наличию зоны термического воздействия. В настоящее время исследования по влиянию СТП на структуру и свойства жаропрочных мартенситных сталей проводились ограничено. Поэтому чрезвычайно важно получить режим, пригодный для применения в промышленности.

Известен патент RU №2610996 (опубл. 06.08.2015), в котором описан Способ повышения прочностных свойств сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием. Изобретение может быть использовано для повышения технологических и эксплуатационных характеристик сварных конструкций и сложных деталей, изготовленных из термически упрочняемых алюминиевых сплавов, полученных сваркой трением с перемешиванием, в частности, при изготовлении различных конструкций для автомобильной промышленности, например для производства дисков автомобильных колес. Сначала проводят послесварочную термическую обработку на твердый раствор с выдержкой в печи в интервале температур от 450°C до 580°C в течение от 30 до 60 минут с последующей закалкой в воду. Затем осуществляют послесварочное искусственное старение в интервале температур от 160°C до 205°C в течение от 1 до 18 часов. Способ позволяет получать сварные конструкции из термически упрочняемых алюминиевых сплавов с высокими механическими свойствами и коэффициентом прочности соединений, близким к уровню основного материала.

Способ сварки трением с перемешиванием достаточно широко применяется для алюминиевых сплавов и описан в патенте RU 2610996 от 06.08.2015, и других, однако применение предлагаемых подходов невозможно реализовать для сталей, поскольку алюминий имеет совершенно другие механические свойства и характеристики.

Кроме того, в литературе встречаются работы, которые направлены на изучение влияния сварки трением с перемешиванием на структуру и свойства материала.

В работе (Yano, Y., Sato, Y. S., Sekio, Y., Ohtsuka, S., Kaito, T., Ogawa, R., & Kokawa, H. (2013). Mechanical properties of friction stir welded 11Cr-ferritic/martensitic steel. Journal of nuclear materials, 442(1-3), S524-S528) изучались механические свойства феррито-мартенситной 11Cr стали, сваренной трением с перемешиванием. Авторы сообщили, что, несмотря на более высокие значения твердости по сравнению с основным материалом, зона перемешивания по-прежнему имеет хорошую прочность на растяжение и относительное удлинение.

Hua с соавт. (Hua, P., Moronov, S., Nie, C. Z., Sato, Y. S., Kokawa, H., Park, S. H. C., & Hirano, S. (2014). Microstructure and properties in friction stir weld of 12Cr steel. Science and Technology of Welding and Joining, 19(1), 76-81) успешно провели процесс СТП в стали 12Cr, получили бездефектные сварные соединения с отличными свойствами при

5 растяжении при комнатной температуре.

На 9% Cr стали метод СТП был применен в работе Li, S., Yang, X., Wang, F., Tang, W., & Li, H. (2019). Microstructural characteristics and mechanical properties of friction-stir-welded modified 9Cr-1Mo steel. Journal of Materials Science, 54(8), 6632-6650. В данном исследовании успешно были получены бездефектные сварные соединения

10 модифицированной стали 9Cr-1Mo с использованием инструментов из сплава W-Re методом СТП. Были использованы режимы сварки 300 об/мин - 50 мм/мин и 400 об/мин - 50 мм/мин. В зонах перемешивания и в высокотемпературной зоне термического воздействия образовался мартенсит закалки. Исследование показало, что в сварном соединении, полученном СТП, зона термического влияния с мелкозернистой структурой

15 достаточно широкая. Что может неблагоприятно сказаться на сопротивлении ползучести.

В литературе отсутствуют данные о проведении СТП в стали с содержанием хрома 10%. Приведенные исследования не включают обработку после сварки направленную на получение равнопрочного соединения и устранение зоны термического воздействия.

20 Известен способ сварки стальных листов трением с перемешиванием, описанный в патенте RU №2569271 (опубл. 04.04.2013). Способ может быть использован при сварке стальных листов трением с перемешиванием. Для вращающегося инструмента скорость вращения RS устанавливают равной 100-1000 об/мин. Крутящий момент RT устанавливают равным 50-500 Нм. Скорость перемещения TS устанавливают равной

25 10-1000 мм/мин. Подвод тепла при сварке НПРТ ( $\text{кДж/мм}^2$ ) регулируют таким образом, чтобы он равнялся от 0,3 до 1,5. Материал свариваемых стальных листов содержит, мас. %: от 0,01 до 0,2 С; от 0,5 до 2,0 Mn; 0,6 или менее Si; 0,030 или менее P; 0,015 или менее S и 0,0060 или менее O. Содержание титана Ti [%Ti] и азота N [%N] ограничивают

30 в зависимости от величины НПРТ. Эквивалентное содержание углерода  $C_{eq}$  составляет 0,5 мас. % или менее, а остальное составляют железо и случайные примеси. Способ обеспечивает предотвращение локального изменения тепла, выделяющегося вследствие трения и создаваемой трением пластической деформации, что обеспечивает однородную и хорошую вязкость в области сварки.

Недостатками данного способа обработки является: то, что способом не

35 предусмотрено его применение для мартенситной высокохромистой стали, а также способ не предполагает последующую термообработку для получения равнопрочного соединения.

Технической задачей предлагаемого изобретения является создание способа

40 получения сварных соединений сваркой трением с перемешиванием мартенситной высокохромистой стали и проведение термической обработки для получения равнопрочного соединения.

Достигается заявленный технический результат тем, что мартенситную высокохромистую сталь подвергают свариванию трением с перемешиванием с помощью инструмента, изготовленного из карбида вольфрама, обладающего высокой твердостью.

45 Сварка производится инструментом со скоростью вращения - от 400 до 700 об/мин., со скоростью подачи от 25 до 150 мм/мин. При этом формируется соединение, которое обладает уровнем прочности выше начальной прочности мартенситной высокохромистой стали. Для нейтрализации неоднородности стали и зоны термического

воздействия, образующейся в результате сварки трением с перемешиванием, необходимо применение нормализации от температуры 1060°C и отпуска при температуре 770°C с выдержкой в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе. Термическая обработка после сварки трением с перемешиванием приводит к формированию

5 равнопрочного соединения и устраняет зону термического воздействия.

В результате предложенный способ позволяет получить сварное соединение, характеризующееся отсутствием зоны термического воздействия, что положительно сказывается на механических свойствах. При этом, измельчение структуры, которое происходит в зоне сваривания, оказывает положительный эффект на кратковременные

10 механические свойства, такие как предел прочности, твердость, ударная вязкость KCV.

При сварке трением с перемешиванием в предлагаемом способе использован инструмент, разработанный на основе патента RU №184619 (опубл. 01.11.2018)

«Твердосплавный инструмент для сварки трением с перемешиванием» для соединения листов стали толщиной 3,2 мм. Диаметр плечиков разработанного инструмента равен

15 14 мм. Данный параметр определялся на основе максимально допустимых усилий

прижима установки сварки трением с перемешиванием и предполагаемой температурой процесса на основе литературных данных. Большой диаметр плечиков превысит

допустимые прижимные усилия установки СТП, а меньший диаметр - не позволит достаточно разогреть материал для его пластического течения получения бездефектного

20 соединения. Форма пина была полусферической диаметром 6,6 мм. Данная форма пина обеспечивает сопротивление пластической деформации при повышенных температурах,

тогда как пины других форм (цилиндр, пирамида, конус и т.д.) быстро изменяли свою геометрию в процессе сварки, что приводило к появлению дефектов и падении

прочностных свойств сварного соединения. Длина пина равна 2,9 мм. Такая длина с

25 учетом наклона инструмента к нормали свариваемых пластин обеспечит минимальную

величину непровара.

Примеры осуществления способа:

Пример 1.

30 Проводят сварку трением с перемешиванием мартенситной высокохромистой стали с помощью инструмента, изготовленного из карбида вольфрама, обладающего высокой

твердостью. Сварка производится со скоростью вращения 400 об/мин., со скоростью подачи - 25 мм/мин. Нормализация от температуры 1060°C и отпуск при температуре

770°C с выдержкой в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе.

Пример 2.

35 Проводят сварку трением с перемешиванием мартенситной высокохромистой стали с помощью инструмента, изготовленного из карбида вольфрама, обладающего высокой

твердостью. Сварка производится со скоростью вращения 700 об/мин., со скоростью подачи - 125 мм/мин. Нормализация от температуры 1060°C и отпуск при температуре

770°C с выдержкой в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе.

40 Пример 3.

Проводят сварку трением с перемешиванием мартенситной высокохромистой стали с помощью инструмента, изготовленного из карбида вольфрама, обладающего высокой

твердостью. Сварка производится со скоростью вращения 400 об/мин., со скоростью подачи - 150 мм/мин. Нормализация от температуры 1060°C и отпуск при температуре

45 770°C с выдержкой в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе.

Режим обработки сваркой трением с перемешиванием мартенситной высокохромистой стали	Предел прочности ( $\sigma_B$ , МПа)	Твердость (HRC)	Ударная вязкость (KCV, Дж/см <sup>2</sup> )
Без обработки	700	250	220
По примеру 1	700	250	240
По примеру 2	700	250	250
По примеру 3	700	250	280

Таким образом, предложенный способ обеспечивает формирование равнопрочного сварного соединения из мартенситной высокохромистой стали.

(57) Формула изобретения

Способ получения сварных соединений мартенситной высокохромистой стали, включающий проведение сварки трением с перемешиванием с помощью инструмента, изготовленного из карбида вольфрама, обладающего высокой твердостью, со скоростью вращения от 400 до 700 об/мин, со скоростью подачи от 25 до 150 мм/мин, и проведение нормализации от температуры 1060°C и отпуска при температуре 770°C с выдержкой в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе.