

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **033990**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.12.17

(51) Int. Cl. **B23K 11/02** (2006.01)
B23K 11/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
201691929

(22) Дата подачи заявки
2015.03.10

(54) **СВАРКА КОНЦОВ МЕТАЛЛОКОРДА, СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ТАКОЙ СВАРКИ**

(31) **14161650.8**

(32) **2014.03.26**

(33) **EP**

(43) **2016.12.30**

(86) **PCT/EP2015/054920**

(87) **WO 2015/144427 2015.10.01**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
НВ БЕКАЭРТ СА (BE)

(56) DE-A1-2658332
WO-A1-2008116469
DE-A1-3628246
US-B1-6169263
EP-A1-1484129
GB-A-1251928
US-A-3818173
GB-A-688244
US-A1-2013056524

(72) Изобретатель:
Гоммерс Том, Мальфе Герт (BE)

(74) Представитель:
Фелицына С.Б. (RU)

(57) Представлено сварочное устройство, позволяющее выполнять управляемую сварку концов металлокорда. Сварочное устройство задает управляемую последовательность сварки от периода сварки до после сварочного периода, чтобы завершить охлаждение. В сварочном устройстве источник постоянного тока управляется во времени посредством программируемого контроллера. Считывая напряжение на зажимах сварочного устройства и используя его в качестве дополнительного входного сигнала на программируемый контроллер в после сварочном периоде может быть достигнуто постоянное рассеивание мощности между зажимами. Описывается соответствующий способ выполнения сварного шва, в котором во время после сварочного периода электроэнергия, рассеиваемая между зажимами, поддерживается постоянной. Сварные швы, полученные посредством этой процедуры, имеют благоприятную металлографическую структуру, в которой зона, затронутая нагревом, имеет больше 50% перлита и/или бейнита по общей площади этой зоны.

B1

033990

033990
B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к области сварки металлокорда, используемого для армирования эластомерных устройств, таких как шины, шланги, конвейерные ленты, синхронные ремни и т. п.

Уровень техники

При изготовлении или обработке металлокорда в какой-то момент металлокорд заканчивается. Поэтому для продолжения процесса существует необходимость соединять друг с другом концы металлокорда. Соединение должно быть простым для изготовления и иметь свойства, близкие или равные свойствам металлокорда, так чтобы при обработке соединение проходило незамеченным.

Существующая практика состоит в соединении концов металлокорда посредством сварки. Концы металлокорда срезают заподлицо и устанавливают в подвижные зажимы сварочного устройства. Когда концы металлокорда прижаты друг к другу, к зажимам прикладывается переменный электрический ток и концы металлокорда нагреваются до такой степени, что сталь размягчается и плавится. Концы вжимаются друг в друга на установленное расстояние и как только это расстояние достигнуто, ток отключается. В окружающем воздухе сварной шов быстро остывает. Эта процедура известна как "стыковая сварка" или "стыковая контактная сварка".

Металлокорд изготавливается из тонких (толщиной меньше 0,50 мм) нитей нелегированной углеродистой стали, которые являются холоднотянутыми до высокого предела прочности на разрыв (выше 3000 Н/мм²). Две или более нитей скручиваются вместе в металлокорд. Металлографическая структура нитей является высокорастяжимой тянутой структурой перлитной стали. При сварке прочность увеличивается за счет холодной формовки. Из-за высокой скорости охлаждения после выполнения сварки, металлографическая структура становится мартенситной, которая более хрупкая, чем тянутая перлитная структура. При процедуре токовой сварки невозможно предотвратить образование мартенситной структуры, поскольку охлаждение сварного шва идет слишком быстро и в любом случае намного быстрее по сравнению со сваркой более толстых проводов.

Чтобы избежать ломкости мартенситной стали в сварном шве, в дальнейшем применяется операция отжига, также называемая термопроцессом снятия напряжений, при которой сварной шов помещают между двумя отжигowymi зажимами. Подавая через сварной шов небольшой переменный ток, производится отжиг сварного шва. Отожженная мартенситная структура обладает большей пластичностью. Эта процедура описывается в документе GB1251928.

Поскольку в зону сварного шва добавляется дополнительный материал, поперечный размер сварного шва становится больше, чем поперечный размер металлокорда, и заусенец должен заполировать или сбиваться, с тем, чтобы диаметр металлокорда в сварном шве заметно не увеличивался. В целом, допускается увеличение диаметра не больше, чем на 3%.

Процедуру трудно повторять должным образом, поскольку

используется источник переменного тока (АС), в котором с помощью трансформатора высокое линейное напряжение 380-400 В АС преобразуется в низкое напряжение с большим током. Колебания линейного напряжения напрямую влияют на мощность, подаваемую при сварке. Эти колебания могут быть значительными во времени в зависимости от качества электрической сети на заводе, производящем проволоку;

металлокорды обладают нерегулярной поверхностью, с которой трудно устанавливать плотный и повторяющийся электрический контакт. Эта проблема весьма серьезна при сварке конструкции с нитью открытого типа или конструкции с несколькими нитями, такой как 2×1, в которой стальные нити могут смещаться относительно друг друга и их торцы трудно выровнять в зажимах. Поэтому электрическое сопротивление при зажиме даже для одного и того же металлокорда может очень сильно различаться. При сварке одиночных проводов эта проблема незначительна, так как гладкая поверхность провода обеспечивает плотный и повторяющийся контакт и торцы провода могут легко выравниваться.

Процедура в результате приводит к сварному шву, свойства которого хуже желаемого: внутренняя пластичность отожденного сварного шва, пониженная прочность сварного шва и наличие заусенца сварного шва делают такой сварной шов слабым звеном. Сварные швы поэтому подвергаются испытанию на разрыв, проверке диаметра и иногда проверке пластичности. При отказе сварного шва он должен быть выполнен заново, что приводит к потере времени.

На существующем уровне техники имеют дело, главным образом, со сваркой одиночных проволок или нитей относительно толстого размера (больше 0,5 мм), таких как проволока для сварной сетки.

Документ US 3818173 описывает запатентованный способ сварки проволоки (то есть, когда проволока не холоднотянутая) из высокоуглеродистых (больше 0,45% С по весу) стальных проволок в стык, где сначала выполняется отоженный мартенситный сварной шов. Далее на отдельном этапе сварки шов подвергается "этапу гомогенизации" выше критической температуры (1065°C, то есть, выше температуры аустенитизации) в течение нескольких минут и в дальнейшем "охлаждается с управляемой скоростью охлаждения". Предлагается "направлять струю охлаждающей текучей среды под давлением в точки соединения, чтобы быстро охлаждать сталь до субкритической температуры, при которой углерод в стали преобразуется напрямую в перлит за минимальное время". Во время этого этапа температура измеряется пирометром, температурные показания которого используются для управления током через сварной шов.

Процедура содержит несколько этапов, поэтому она длительна (занимает несколько минут) и непрактична, поскольку пирометр должен быть подогнан к конкретной проволоке. Кроме того, это относится к одиночной проволоке, а не к металлокордам.

Документ CN 102328148 описывает способ сварки сетки (то есть, крестообразной сварки) из стальной проволоки из низкоуглеродистой или среднеуглеродистой стали, при которой после формирования сварного шва первый этап естественного охлаждения сопровождается отдельным этапом нагревания. После второго этапа естественного охлаждения применяется конечный отпуск. Способ может применяться только для крестообразной сварки одиночных проволок в сетке. В такой конфигурации контактное сопротивление между зажимами и проволокой обладает очень высокой повторяемостью.

Документ CN 101596643A описывает способ сварки встык проволоки из нержавеющей стали. Способ описывает, как можно управлять температурой посредством последовательности импульсов постоянного тока. При этом управляют только величиной тока и длительностью импульса.

Документ DE 2658332 описывает сварку оплавлением нитей или жил, при которой сварочные зажимы снабжаются выемками, чтобы получить сварной шов в виде шарика. При сварке оплавлением электрическая дуга возникает между концами нитей или жил и нагревает эти концы. Сварка оплавлением не используется на стальной проволоке, поскольку ее концы слишком неоднородны, чтобы гарантировать повторяемость образования дуги.

Документ WO 2008/116469 описывает способ сварки и соответствующее сварочное устройство для сварки двойных стальных полос из нержавеющей стали, где охлаждением сваренного пограничного участка управляют посредством компьютера, запрограммированного для подачи тока во время по меньшей мере части цикла охлаждения.

Идентифицирован следующий уровень техники, конкретно сосредоточенный на сварке металлокорда:

Документ WO 03/100164 на фиг. 5, стр. 9 и 10, описывает известную процедуру сварки и отжига жилы в многожильном стальном металлокорде, дополнительно содержащую этап сокращения шага скрутки перед сваркой. В конкретном месте многожильного металлокорда присутствует только одна сваренная жила.

Документ WO 2007/020148 описывает соединение концов металлокорда, которое, в частности, пригодено для соединения открытых жил металлокорда. Соединение содержит участок соединения, такой, как, например, участок сварного шва и участок фиксации на удалении от участка соединения, чтобы сделать нити неподвижными относительно друг друга.

Хотя последние две процедуры приводят в результате к приемлемым сварным швам для конкретной цели, они не обладают универсальной применимостью или нуждаются в дополнительных материалах и операциях.

Изобретатели поэтому стремились улучшить существующие типы сварных швов, процедуры сварки и устройства сварки таким образом, как это будет объяснено в дальнейшем.

Раскрытие сущности изобретения

Основной задачей изобретения является обеспечение превосходных сварных швов, которые должным образом повторяются независимо от типа свариваемого металлокорда. Более конкретно, сварной шов и процедура сварки являются пригодными для металлокордов с диаметрами нити меньше 0,50 мм и содержащих две и более нитей. Описанные способ и устройство дают в результате сварной шов, который не нарушает непрерывность последующих процессов во время производства металлокорда или последующих процессов в устройствах армирования резины. Кроме того, способ и устройство решают проблему неоднородного электрического сопротивления между зажимами, особенно возникающую при сварке открытого металлокорда или металлокорда с несколькими нитями.

В соответствии с первым вариантом изобретения заявляется сварка двух концов металлокорда. Металлокорд содержит множество стальных нитей, то есть, 2 или более нитей. Обычно количество стальных нитей бывает между 2 и 50 или меньше, но, обычно, меньше 27. Металлокорды, концы которых свариваются, предпочтительно имеют одинаковый тип, хотя изобретение также применимо к сварке различных типов металлокордов друг к другу. Стальные нити скручиваются вместе способами, известными в технике изготовления металлокордов.

Металлокорды могут быть простого типа " $n \times d$ ", где скручиваются " n " нитей диаметра " d ". Например, металлокорд может содержать только две нити ($n=2$). Такой простой металлокорд может также изготавливаться в "открытой" версии, в которой нити предварительно формуруются, так чтобы во время дальнейшей обработки резина могла вводиться между нитями. Или они могут быть типа "U+T", в котором витая жила из T нитей и нескрученная жила из "U" нитей скручиваются друг с другом. Эти типы особенно трудны для сварки, поскольку их рыхлость (в случае открытого металлокорда) или их неравномерная поверхность (для типа "U+T") мешают устанавливать повторяемый электрический контакт.

Металлокорд может также быть слоистого типа, такого как " $n+m$ ", в котором основная жила из " n " нитей, скрученных с первым шагом скрутки, скручивается поверх этой основной жилы слоем из " m " нитей со вторым, другим шагом скрутки. Процедура может сопровождаться добавлением дополнительного слоя T из нитей: это тип " $n+m+1$ ". Или металлокорды могут быть типа "компактного металлокорда", в

котором связка нитей одинакового диаметра скручивается вместе с одним и тем же шагом скрутки. Эти металлокорды обычно выполняются с возможностью прохождения через них резины, которая делает их поверхность неправильной или открытой, создавая, таким образом, трудности в достижении надежного электрического контакта между металлокордом и сварочными зажимами.

Также, в качестве многониточного металлокорда типа N×M можно рассмотреть, например, металлокорд 7×7, в котором 7 связок, в каждой из которых имеется 7 нитей, скрученных вместе, в свою очередь, скручиваются вместе. Эти типы трудно сваривать, потому что наружная поверхность, доступная для электрического контакта с металлокордом, мала по сравнению с массой между сварочными зажимами, которая должна свариваться. Локальные плотности тока могут поэтому становиться очень высоким, приводя к неравномерному нагреванию по всему сварному шву.

Ни в коем случае вышеупомянутый список типов металлокордов не является ограничительным, поскольку специалист в данной области техники может с легкостью добавить или определить другие металлокорды, попадающие в объем изобретения, но которые могут быть здесь не перечислены.

Стальные нити изготавливаются из углеродистой стали, более предпочтительно, из простой высокоуглеродистой стали. Типичной состав металлокорда имеет минимальное содержание углерода 0,65%, содержание марганца в пределах от 0,40 до 0,70%, содержание кремния в пределах от 0,15 до 0,30%, максимальное содержание серы 0,03%, максимальное содержание фосфора 0,30%, все проценты являются процентами по весу. Имеются только следы меди, никеля и/или хрома. Типичный состав металлокорда для шины для металлокорда с высоким сопротивлением растяжению имеет минимальное содержание углерода приблизительно 0,80 вес.%, например 0,78-0,82 вес.%.

Стальные нити вытягиваются, то есть, подвергаются процессу холодной деформации, при котором диаметр проволоки постепенно снижается при последовательном протягивании его через все меньшие отверстия или волокна. Результирующее процентное уменьшение площади для нитей металлокорда составляет по меньшей мере 86% и обычно равно приблизительно 95-97%, в то время как в настоящее время возможно общее уменьшение площади 98,2%. Тянутые стальные нити имеют более высокий предел прочности по сравнению с патентованной стальной проволокой, из которой они тянутся. Предел прочности тянутой проволоки увеличивается с уменьшением величины площади и/или содержания углерода в стали. Обычно предел прочности нитей, используемых для металлокорда, имеет значение выше 3000 Н/мм² для нитей тоньше 0,30 мм, в то время как для проволоки 0,12 мм в настоящий момент достижим предел прочности 4000 Н/мм².

Патентованная стальная проволока перед вытягиванием обладает тонкой перлитной структурой. После вытягивания структура все еще остается перлитной, но зерна удлиняются. Квалифицированный металлург может с легкостью распознать эти виды металлографических структур.

Обычно провода покрываются покрытием, которое способствует адгезии между нитями и резиной, внутри которой используется металлокорд. Обычно для этой цели используется медное или цинковое покрытие. Наиболее часто используется состав, содержащий 63,5% меди по весу, остальное является цинком.

Нити металлокорда должны быть относительно тонкими, чтобы легко изгибаться при их использовании в шине. Площадь поперечного сечения отдельных нитей поэтому ниже 0,2 мм², что соответствует проволоке с круглым поперечным сечением диаметром 0,5 мм. Обычно площадь поперечного сечения ниже 0,1 мм² (например, диаметр 0,30 мм) или ниже 0,05 мм² (например, диаметр 0,25 мм). Самое малое поперечное сечение нити, с которыми все еще доступны металлокорды, равно 0,005 мм².

Диаметр или площадь поперечного сечения стальных нитей и количество нитей в металлокорде особенно важны, поскольку они в значительной степени влияют на поведение сварного шва при охлаждении или нагревании, как будет объяснено при описании способа сварки.

Сварка в соответствии с настоящим изобретением отличается благоприятной металлографической структурой. Когда делается металлографический поперечный срез сварного шва, соответствующего изобретению, то приблизительно 50% площади зоны сварного шва, затронутой нагревом, имеет перлитную и/или бейнитную металлографическую структуру. В предпочтительном варианте осуществления перлитная и/или бейнитная структура занимает свыше 60%, возможно, свыше 70% зоны, затронутой нагревом. В дополнительно предпочтительном варианте осуществления по меньшей мере 50% площади, затронутой нагревом, демонстрирует перлитную металлографическую структуру.

В поперечном сечении "зона, затронутая нагревом," может легко идентифицироваться как зона сварного шва между тянутой анизотропной структурой незатронутых стальных нитей.

"Перлитная" металлографическая структура углеродистой стали в сварном шве может быть легко определена в металлографическом полированном и протравленном поперечном сечении. В отличие от тянутого перлита в стальной нити перлит в "зоне, затронутой нагревом," демонстрирует межзеренные границы и является изотропным. Он имеет перламутровый внешний вид, отсюда его название, за счет чередующихся слоев феррита и цементита. Он формируется при правильных условиях охлаждения от фазы аустенита в пределах приблизительно 550-700°C. Он, тем не менее, прочен и соответствует структуре патентованной проволоки, из которой тянется стальная нить.

"Бейнитная" металлографическая структура одинаково хорошо известна металлургам-сталеплавильщикам. Она формируется при несколько более низких температурах (400-550°C), чем перлитная структура и отличается присутствием блоков ферритовых пластин, разделенных остаточными аустенитом, мартенситом или цементитом.

Предел прочности на разрыв перлитовой и/или бейнитной фаз превышает 1000 Н/мм² для сталей с содержанием по меньшей 0,55% углерода по весу. Эти фазы демонстрируют лучшую пластичность, чем отпущенная мартенситная фаза.

Другим признаком сварного шва является то, что на переходе сварного шва к незатронутым нитям на концах металлокорда, может наблюдаться неотпущенный мартенсит. Однако, путем соответствующего подбора условий охлаждения, толщина этого неотпущенного мартенсита может быть сделана меньше 600 мкн или даже меньше 400 мкн или даже меньше 100 мкн. В идеале, неотпущенный мартенсит едва заметен.

Определенный выше сварной шов получается способом, описанным здесь далее.

В соответствии с этим вторым вариантом изобретения представляется способ выполнения сварного шва между концами металлокорда. Металлокорды содержат множество (две или более) нитей тянутой перлитовой углеродистой стали с площадью поперечного сечения менее 0,2 мм². Способ начинается с предоставления двух концов металлокорда, срезанных заподлицо. "Срезанных заподлицо" означает, что ни одна из нитей с любого конца не выступает больше, чем другие нити: концы нитей находятся, по существу, в одной плоскости.

Концы металлокорда устанавливаются в подвижные по оси сварочные зажимы сварочного устройства, более предпочтительно, сварочного устройства, соответствующего третьему варианту изобретения.

Сварочные зажимы сжимают концы металлокорда относительно друг друга с управляемой для сварки силой. Поскольку концы металлокорда при этом создают электрический контакт, электрический ток может проходить через точку контакта. Электрический ток является постоянным электрическим током, то есть, не меняющим полярность. Постоянный ток имеет значение тока сварки, при котором сталь нитей плавится (представляющие интерес для данной заявки углеродистые стали плавятся при температуре выше 1400°C). По мере того, как сталь размягчается, шарик расплавленной стали образует сплавление концов стальных нитей в единый сфероид при продвижении сварочных зажимов друг к другу.

По достижении заданного хода зажима постоянный ток непрерывно снижается от значения тока сварки до управляемого послесварочного значения постоянного тока в течение заданного послесварочного временного интервала. После этого заданного периода послесварочный ток выключается и полученному сварному шву дают остыть.

Отличительным признаком способа является то, что послесварочным током управляют для того, чтобы электроэнергия, рассеиваемая между зажимами, регулировалась в направлении постоянного значения во время послесварочного периода. Расходуемая электроэнергия является произведением напряжения на зажимах, умноженного на ток через зажимы. Важно заметить, что эта мощность не зависит от электрического сопротивления между зажимами. Постоянное значение достигается после определенного времени перехода. После этого времени постоянное значение сохраняется.

Электрическое сопротивление между зажимами является суммой контактного сопротивления R_L между левым зажимом и металлокордом, сопротивления самого сварного шва R_W и сопротивления R_R между металлокордом и правым зажимом. Сопротивление сварного шва R_W будет зависеть от того, насколько точно нити подогнаны в сварном шве. Оно может изменяться от одного сварного шва к другому из-за неодинаковой ориентацией концов нитей, обращенных друг к другу перед сваркой. Сопротивления сварных зажимов R_L и R_R также изменяются при зажиме от случая к случаю, в зависимости от того, насколько точно индивидуальные нити расположены в зажимах по мере того, нити при зажиме сами меняют свои места в зажимах.

Теперь, когда послесварочный ток " I_{pw} " подается в режиме постоянного тока, потребляемая мощность становится равной:

$$P = I_{pw}^2 \cdot (R_L + R_W + R_R).$$

Эта мощность зависит от контактных сопротивлений зажимов и сопротивления сварного шва, которые могут меняться при разных случаях зажима, даже при одном и том же металлокорде. Это вводит изменчивость подаваемой послесварочной мощности.

Считывая в это время напряжение "U" на зажимах, послесварочный ток регулируется так, что произведение напряжения и тока остается постоянным:

$$P = U \cdot I_{pw}.$$

Изменчивость контактных сопротивлений зажимов и сопротивления сварного шва исчезает и каждый сварной шов теперь делается точно с одной и той же послесварочной мощностью.

Послесварочная мощность устанавливается так, чтобы поддерживать сварной шов при температуре между 300 и 700°C, предпочтительно между 400 и 650°C или наиболее предпочтительно между 500°C и 600°C в течение времени, достаточного, чтобы вызвать металлографические преобразования в шарике сварного шва. Мощность, необходимая для поддержания сварного шва при определенной температуре,

уменьшается с уменьшением диаметра и сокращением количества нитей, поскольку они определяют массу шарика сварного шва. В зависимости от типа конструкции (более конкретно, от количества нитей) и диаметра нитей в металлокорде, эта мощность может изменяться между 5 Вт (для нескольких и/или тонких нитей) до 100 Вт (для множества и/или более толстых нитей).

Мельчайшие абсолютные изменения контактного сопротивления и/или сопротивления сварного шва ведут к высоким относительным различиям потребляемой мощности при работе с постоянными послесварочными токами. Способ изобретения полностью исключает эту изменчивость. Следовательно, значение управления мощностью становится очень важным при сварке металлокордов с тонкими нитями. Большая часть теплоты теряется из-за теплопроводности сварочных зажимов, тогда как потеря тепла в окружающий воздух или за счет излучения не влияет на эту необходимую мощность в заметной степени.

Необходимая мощность может быть выбрана, руководствуясь следующим:

когда послесварочная мощность слишком низкая, сварной шов охлаждается до слишком низкой температуры (ниже 300°C) и шарик расплавленной стали будет конденсироваться в мартенситную структуру;

когда послесварочная мощность слишком высокая, сварной шов остается при температуре выше 700°C и после того, как послесварочная мощность выключена, снова формируется мартенситная структура, приводящая в результате к хрупкому сварному шву.

Послесварочный ток регулируется в направлении постоянного значения мощности в течение послесварочного временного интервала 5-50 с, снова в зависимости от типа конструкции. Когда послесварочный временной интервал меньше 5 с, сварной шов является мартенситным, поскольку преобразование в перлит и/или бейнит не завершено. Когда послесварочный временной интервал больше 50 с, неотпущенные мартенситные зерна имеют тенденцию формироваться также в сварном шве. Обычно послесварочное время будет в пределах 5-30 с.

Важной особенностью способа является то, что переключение или переход постоянного тока от значения тока сварки до значения послесварочного тока происходит без прерывания. Малейшее прерывание может приводить к формированию мартенситной фазы, которая позднее должна отжигаться. Это важно, поскольку масса в сварочном шарике настолько мала, что вся теплота теряется в зажимах в пределах миллисекунд.

После сваривания заусенец сварного шва, в случае необходимости, удаляется расплющиванием или наждачной бумагой, как обычно в этой области техники.

В дополнительном предпочтительном варианте осуществления способа может быть установлено время перехода от значения тока сварки до управляемого значения послесварочного тока. В металлографии стали важны не только температурные значения, но также и скорость охлаждения. Поскольку масса шарика сварного шва очень мала (порядка миллиграмма), охлаждение шарика происходит с коэффициентом охлаждения свыше 1000 К/с.

Скорость охлаждения увеличивается с уменьшением диаметра нити. Следовательно, при сварке тонких стальных проволок, как в металлокорде, соответствующем изобретению, важно охлаждать сварной шов управляемым способом, регулируя мощность нагревания, подаваемую к сварному шву после сварки, так, чтобы охлаждение преобладало над нагреванием. При этом важным становится управляемое время перехода. Для сварки толстых проволок ситуация обратная: чтобы добиться достаточно быстрого охлаждения после сварки, ток полностью выключается и даже применяется принудительное охлаждение, поскольку отвод теплоты через зажимы недостаточен, чтобы достаточно быстро охладить сварной шов.

Чтобы не переходить слишком быстро к управляемому значению мощности, соответствующему послесварочной температуре, время перехода или постоянная времени перехода от значения тока сварки к значению послесварочного тока предпочтительно управляется в пределах 10-1000 мс. Времени меньше 10 мс не требуются, поскольку время охлаждения в любом случае медленнее, чем это. Время более 1000 мс делает сварку слишком трудоёмкой. Это время перехода оказывает влияние на ширину неотпущенной мартенситной фазы в сварном шве: также, быстрое переключение приводит в результате к неотпущенному мартенситу на границе между сварочным зажимом и самим сварным швом. Поскольку сварочный зажим действует как теплоотвод, охлаждение в этом случае является самым быстрым.

Можно рассмотреть дополнительный этап отжига, если все еще может присутствовать неотпущенная мартенситная область. Этап отжига предпочтительно выполняется, не требуя вынимания сварного шва из сварочных зажимов.

В соответствии с третьим вариантом изобретения, заявляется устройство стыковой контактной сварки. Оно содержит сварочные зажимы, подвижные относительно друг друга вдоль общей оси, управляемый источник тока для подачи тока к зажимам и программируемый контроллер.

В отличие от известных в настоящее время сварочных машин для металлокорда, управляемый источник тока является источником постоянного тока. "Постоянный ток" для цели настоящей заявки является током, который не меняет свое направление на обратное дважды в пределах периода, меньшего, чем 15 мс. Альтернативно постоянный ток не имеет никаких основных частотных составляющих между 45 и 65 Гц. Кроме того, выход этого постоянного тока может управляться во времени программируемым кон-

троллером. Таким образом, значения тока в различных временных интервалах и/или во время фронта и спада, то есть, во времена перехода, могут устанавливаться по желанию для лучшего управления сварным швом, как описано в варианте способа изобретения.

Сварочное устройство дополнительно имеет датчик напряжения, считывающий напряжение между зажимами, и в котором считанное напряжение является входным напряжением программируемого контроллера.

В дополнительном предпочтительном варианте осуществления датчик напряжения позволяет управлять производением считанного напряжения и тока, то есть, мощностью, подаваемой к сварному шву. Это произведение в течение программируемых временных интервалов может регулироваться до установленного значения. Регулирование делается посредством регулирования тока, считывая при этом напряжение.

Дополнительным предпочтительным признаком сварочного устройства является то, что режим считывания может переключаться в пределах очень короткого времени между следующими режимами:

режим управляемого выходного тока, в котором контроллер управляет выходным током в соответствии с заранее запрограммированной зависимостью между током и временем; или

режим управляемого напряжения, в котором контроллер управляет считываемым напряжением в соответствии с заранее запрограммированной зависимостью между напряжением и временем; или

режим управляемой выходной мощности, в котором контроллер управляет подаваемой мощностью в соответствии с заранее запрограммированной зависимостью между мощностью и временем и в котором мощность равняется считанному напряжению, умноженному на подаваемый ток.

Сварочное устройство может переключаться из одного режима работы в любой другой режим работы в пределах 10 мс. Например, во время сварки сварочный ток будет следовать заранее запрограммированной траектории, но когда сварочные зажимы достигают своего заданного предела хода, устройство переключается в режим управляемой выходной мощности между зажимами.

В качестве дополнительного предпочтительного признака сварочного устройства, время перехода, такое как, например, постоянная времени в случае экспоненты или время линейного нарастания или линейного спада в случае линейной кривой для переключения от одного значения тока, напряжения или мощности к другому значению тока, напряжения или мощности, может управляться в пределах между 10 мс и 1000 мс.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 - процедура сварки на предшествующем уровне техники.

Фиг. 2а и 2b - временные зависимости тока (2а) и мощности (2b) в соответствии с первым вариантом осуществления способа: в режиме управляемого тока.

Фиг. 3а и 3b - временные зависимости мощности (3а) и тока (3b) в соответствии со вторым вариантом осуществления способа, в котором управляют значением послесварочной мощности.

Фиг. 4 - проблема "сопротивления зажимов".

Фиг. 5а и 5b - показывают макроскопический и микроскопический вид сварного шва с различными металлографическими признаками.

Фиг. 6 - сварочное устройство, соответствующее третьему варианту изобретения.

Осуществление изобретения

На фиг. 1 показан цикл сварки, соответствующий известной процедуре. В этой процедуре концы металлокорда срезают заподлицо и устанавливают между подвижными сварочными зажимами. Сварочные зажимы слегка сжимают концы металлокорда относительно друг друга. При подаче переменного тока контактная область начинает плавиться и образуется расплавленный стальной шарик. Концы металлокорда вжимаются друг в друга и когда зажимы достигают замкнутого положения через время сварки Δt_w ток автоматически выключается. Шарик сжимается в неотпущенную мартенситную структуру. Поскольку эта структура прочная, но очень хрупкая, она должна отпусаться. Поэтому свежий сварной шов удаляется из сварочных зажимов и размещается между двумя отжиговыми зажимами. Переменный ток отжиговых зажимов ограничивается так, чтобы шарик не нагревался слишком сильно. Выполняя сварные швы согласно описанной выше процедуре для открытого металлокорда 5×0.22 Betru® фирмы Bekaert, только 7 из 10 сварных швов проходят испытание на прочность при растяжении при 40% времени с минимальной нагрузкой разрушения металлокорда (630 Н).

На фиг. 6 схематично показан краткий обзор устройства 600 контактной стыковой сварки, соответствующего третьему варианту изобретения. Оно содержит сварочные зажимы 610, 610', установленные на общем рельсе 614, на котором также находится кодер положения, такой как индуктивный бесконтактный датчик или лазерный дистанционный датчик или подобный датчик положения, чтобы определять расстояние между зажимами 610, 610' вдоль рельса 614. Сварочные зажимы 610, 610' нажимают друг на друга системой 606, 606' мощных пружин или подобным средством, таким как, например, пневматический поршень, за счет веса или магнитной силы.

Сварочное устройство 600 дополнительно содержит управляемый источник 620 постоянного тока, который может обеспечивать ток до 300 А. Устройство дополнительно содержит программируемый ло-

гический контроллер (PLC) 618 для управления процессом сварки. PLC 618 позволяет свободно создавать конкретные зависимости $I(t)$ для тока, подаваемого к зажимам, регулируя управляемый источник 620 тока. Например, он позволяет переходить от одного значения тока к другому значению тока в пределах адаптируемых временных ограничений.

PLC имеет два входа: существует вход сигнала хода 616 зажима, который сигнализирует PLC, когда сварочные зажимы достаточно приблизились к друг другу во время сварки, сообщая, таким образом, об окончании этапа сварки. Одновременно, посредством измерителя 624 напряжения напряжение $U(t)$, считываемое на зажимах 610, 610', отслеживается во времени и подается на блок PLC 618 ко входу 626. Поскольку PLC знает выходной ток $I(t)$ и входное напряжение $U(t)$, умножение обоих значений дает в результате значение мощности "P", подаваемой между зажимами ($P=U \cdot I$). Мощность P может управляться с установкой конкретного значения в заданном временном интервале в соответствии с программой PLC. Мощность управляется посредством изменения тока управляемого источника 620 тока.

Следовательно, сварочное устройство позволяет выполнять переключение из режима управляемого выходного тока в режим управляемой выходной мощности. Важно то, что переключение режима управления является быстрым и время переключения находится в пределах 10 мс. Это может быть получено, выбирая соответствующий источник тока и период тактовых импульсов в PLC. Также возможен режим считываемого управляемого напряжения, в котором напряжением, считываемым на сварном шве, управляют, устанавливая определенное значение, регулируя тем самым ток сварного шва.

В дополнительной улучшенной версии сварочного устройства время перехода, необходимое для перехода от одного значения тока к другому значению тока в рамках режима выходного управляемого тока, может регулироваться в пределах между 10 и 1000 миллисекунд (мс). Альтернативно, в рамках режима выходной управляемой мощности время перехода, необходимое для перехода от одного значения мощности к другому значению, может регулироваться в пределах 10-1000 мс. Менее используемым является режим считываемого управляемого напряжения, но и в нем также могут быть достигнуты такие же времена перехода. Переключение с одного значения тока на другое значение тока или с одного значения мощности на другое значение мощности может программироваться во времени по линейной кривой. Более предпочтительно, когда переключение следует по кривой экспоненциального затухания или нарастания, поскольку это соответствует естественным кривым затухания устройства.

Значение P_{pw} (в Вт) послесварочной мощности зависит от типа конструкции металлокорда и, главным образом, зависит от количества нитей и их диаметров. Оно должно быть установлено в процессе последовательности предварительных испытаний, но известно, что PLC может быть запрограммирован на оптимальное значение для любой конструкции металлокорда.

На фиг. 2а представлен практический профиль 100 изменения тока во времени для сварки в соответствии с изобретением. Профиль содержит экспоненциальную кривую, нарастающую до значения тока сварки I_w в течение временного интервала Δt_w сварки, после которого сразу следует спад до послесварочного значения тока I_{pw} . Послесварочное значение тока I_{pw} , поддерживается в течение заранее запрограммированного временного интервала Δt_{pw} . Переключение со значения тока сварки до значения послесварочного тока производится датчиком 616 положения сварочного устройства. Если зажимы достаточно близки друг к другу, это указывает, что шарик расплавленной стали сформировался. Вопреки установившейся практике, послесварочная фаза наступает сразу после фазы сварки и остывание сварного шва не допускается. Только после послесварочной фазы сварной шов охлаждается до температуры окружающей среды. Затем заусенец сварного шва также удаляется сплющивается или спиливается наждачной бумагой (если нужно).

В послесварочном режиме ток через сварной шов стабилизируется при значении I_{pw} постоянного послесварочного тока. Переключение завершается в пределах времени перехода, равного 3τ , где "m" является постоянной экспоненциального затухания тока, то есть, временем, необходимым для затухания до 1/e или до 37% разности между током при сварке и послесварочным током. Время перехода 3τ может регулироваться в пределах 10-1000 мс.

Во время экспериментов с этой установкой изобретатели обнаружили, что некоторые из сварных швов выглядели как светящиеся тёмнокрасным цветом, в то время как другие сварные швы не светились, хотя профиль подаваемого тока оставался неизменным и конструкция была точно такой же. Сварные швы, которые светились тёмнокрасным цветом, позднее выглядели более хрупкими, чем не светившиеся сварные швы. Изобретатели, без обращения к какой-либо теории, приписывают это меняющемуся сопротивлению сварного шва и меняющемуся контактному сопротивлению между сварочными зажимами и металлокордом.

Конечно, как показано на фиг. 4, контактная область зажима 410 с нитями 402, 402', 402" металлокорда зависит от положения различных нитей. Поскольку нити скручиваются друг с другом, внутренние точки 406 электрического контакта (заполненные эллипсы) между стальными нитями и точки контакта стальных нитей с зажимами 404 (пустые эллипсы) возникают беспорядочно от случая к случаю. Следовательно, сопротивления зажимов R_L и R_R различны от случая к случаю. Помимо этого, существует также изменчивость из-за того, как нити металлокорда входят в контакт с друг другом во время сварки, что

приводит к изменчивости сопротивления сварного шва и при этом контакте отсутствует повторяемость.

В результате, мощность, подаваемая между зажимами, также меняется, как показано на фиг. 2b. Здесь подаваемая мощность $P=I^2 \cdot R$ показана для полного сопротивления $R = R_L + R_W + R_R$. Уменьшение сопротивления до 90% от R (хороший электрический контакт) приводит к более низкой кривой 108, тогда как увеличение сопротивления до 110% от R (плохой электрический контакт) ведет к увеличению подаваемой мощности (112) по всему сварочному циклу.

Дополнительно ухудшает ситуацию следующее: эмпирическое правило в физике состоит в том, что хороший электрический контакт является также хорошим контактом для передачи теплоты, и наоборот. Увеличенная мощность, которая подается к сварному шву и преобразуется в теплоту, когда присутствует высокое электрическое сопротивление, также не может быть отведена от сварного шва. Как следствие, сварной шов нагревается сверх того, что ожидалось.

Хотя это не столь серьезная проблема во время временного интервала Δt_w сварки, поскольку задача состоит в доведении стали до ее температуры плавления и, предпочтительно, несколько выше, это оказывает глубокое влияние на металлографию сварного шва в послесварочном режиме. Слишком высокое контактное сопротивление может поэтому поднять температуру сварного шва в послесварочном режиме много выше требуемого температурного диапазона 300-700°C. Наоборот, слишком низкое контактное сопротивление может привести к слишком низким температурам. Обе ситуации ведут к образованию неотпущенных мартенситных фаз или даже к неуправляемым смешанным фазам, которые не должны возникать в хорошем сварном шве.

Для преодоления этой неблагоприятной ситуации сварочное устройство, соответствующее изобретению, выполнено с возможностью переключения в режим постоянной мощности, как только сварной шов выполнен. Это показано на фиг. 3a, где показана электроэнергия, рассеиваемая между зажимами, и на фиг. 3b показан электрический ток, проходящий при этом. Во время сварки, то есть, во время временного интервала Δt_w PLC программируется в режиме постоянного тока. Следовательно, мощность, рассеиваемая во время сварки, будет меняться в зависимости от полного сопротивления между зажимами, как показано линиями 302 и 304 на фиг. 3a. Линия 302 соответствует увеличению сопротивления до $1,1R$, тогда как кривая 304 соответствует уменьшению сопротивления до $0,9R$. Кривая 300 является графиком мощности, полученным для сопротивления R . Для наглядности: R равно приблизительно 25 мΩ для открытого металлокорда 5x0.22 Betru®. На фиг. 3b показано, что в послесварочном режиме ток может падать до разных значений, чтобы получить одну и ту же выходную мощность. Здесь кривая 314 соответствует низкому значению сопротивления ($0,9R$), а кривая 312 соответствует высокому значению сопротивления ($1,1R$). Как и во время фазы сварки, ток управляется и три кривые сливаются вместе.

Поскольку мощность, подаваемая между сварочными зажимами, идентична от одного сварного шва к другому (то есть, от случая к случаю) во время послесварочной фазы, температура лучше управляется. В результате, металлургия лучше управляется и во время послесварочного процесса в шве формируются благоприятные перлитная и/или бейнитная фазы. Это стало ясно также во время испытания, где для металлокорда 10 5x0.22 Betru® было сделано 10 сварных швов и все 10 без проблем прошли испытания сварных швов.

Это дополнительно показано на фиг. 5a и 5b, где показана металлургия предпочтительного сварного шва. Сварной шов был сделан на металлокорде 5x0.22 Betru® при токе сварки 110 А, который поддерживался приблизительно 122 мс (определялся ходом зажимов). Послесварочная мощность была установлена равной 13 Вт. Время затухания послесварочного тока (3τ) или время перехода было установлено равным 130 мс, то есть после 130 мс мощность была стабильной. Послесварочный временной интервал был установлен равным 8000 мс.

На фиг. 5a сварной шов показан полностью. Неотпущенные мартенситные зоны 504, 504' все еще присутствуют, но их ширина меньше 300 мкм. В средней зоне 502 присутствует смешанная фаза перлита и бейнита, которая занимает 53% общей зоны, затронутой нагревом. Смешанная фаза перлита и бейнита показана на фиг. 5b.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ создания сварного соединения между концами металлокорда, причем упомянутые металлокорды содержат множество нитей из тянутой перлитной углеродистой стали, причем каждая из упомянутых нитей имеет площадь поперечного сечения меньше $0,2 \text{ мм}^2$, включающий в себя этапы, на кото-

рых обеспечивают наличие двух концов металлокорда, обрезанных заподлицо;

устанавливают упомянутые концы металлокорда, выровненные по оси, в перемещаемые вдоль оси сварочные зажимы сварочного устройства;

контролируемо вжимают упомянутые концы металлокорда друг в друга, в то же время подавая к упомянутым зажимам постоянный ток при значении тока сварки, формируя, таким образом, шарик расплавленной стали;

при достижении заданного хода зажимов уменьшают упомянутый постоянный ток до послесвароч-

ного постоянного тока, управляемого в течение заданного послесварочного временного интервала; охлаждают полученное сварное соединение после переключения упомянутого послесварочного постоянного тока;

отличающийся тем, что упомянутым послесварочным током управляют таким образом, что электрическая мощность, рассеиваемая между зажимами, регулируется до постоянного значения для выдерживания шва при температуре 300-700°C во время указанного послесварочного временного интервала, составляющего 5-50 с.

2. Способ по п.1, в котором переход упомянутого постоянного тока от упомянутого значения тока сварки до упомянутого управляемого послесварочного тока происходит без прерывания.

3. Способ по п.2, в котором упомянутый переход постоянного тока от значения тока сварки до упомянутого управляемого послесварочного тока управляется в пределах времени 10-1000 мс.

4. Способ по любому из пп.1-3, в котором упомянутый послесварочный ток таков, что рассеиваемая мощность находится в пределах между 5 и 100 Вт.

5. Способ по любому из пп.1-4, дополнительно сопровождаемый отдельным этапом отжига упомянутого сварного соединения с помощью управляемой мощности отжига, установленной на заданное значение мощности для заданного промежутка времени.

6. Способ по п.5, в котором упомянутое сварное соединение не вынимают из упомянутых перемещаемых вдоль оси сварочных зажимов до и во время упомянутого этапа отжига.

7. Сварное соединение между двумя концами металлокордов, полученное способом по любому из пп.1-6, причем упомянутые металлокорды содержат множество нитей тянутой перлитной углеродистой стали, где каждая из упомянутых нитей имеет площадь поперечного сечения меньше 0,2 мм², при этом сварное соединение содержит зону термического влияния, расположенную между тянутой анизотропной структурой незатронутых стальных нитей, идентифицируемых на металлографическом поперечном сечении, а указанное металлографическое поперечное сечение зоны термического влияния сварного соединения содержит перлитную и бейнитную металлографические структуры в таком объеме, что доля области, занятая перлитом и бейнитом, составляет более 50% от общей площади зоны термического влияния.

8. Сварное соединение по п.7, в котором металлографическое поперечное сечение сварного соединения также содержит неотпущенные мартенситные металлографические структуры в зоне термического влияния на переходе от сварного соединения к незатронутым стальным нитям.

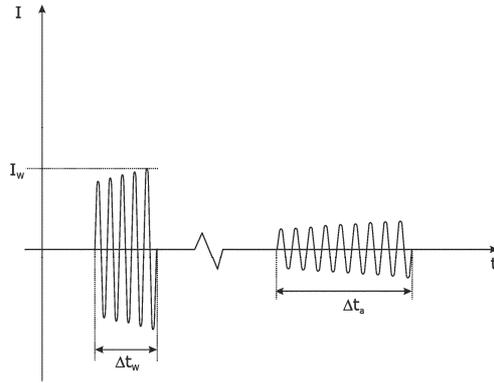
9. Сварное соединение по п.8, в котором неотпущенная мартенситная металлографическая структура на переходе от сварного соединения к незатронутым стальным нитям тоньше 600 мкм.

10. Устройство стыковой контактной сварки для осуществления способа по любому из пп.1-6, содержащее сварочные зажимы, выполненные с возможностью перемещения относительно друг друга вдоль общей оси, управляемый источник тока для подачи тока к упомянутым зажимам и программируемый контроллер, причем упомянутый управляемый источник тока является источником постоянного тока, где ток, подаваемый в зависимости от времени, управляется упомянутым программируемым контроллером, при этом упомянутое сварочное устройство содержит датчик напряжения для считывания напряжения между упомянутыми сварочными зажимами, выполненный с возможностью подачи считанного напряжения на вход упомянутого программируемого контроллера для регулирования электрической мощности, рассеиваемой между зажимами, до постоянного значения для выдерживания шва при температуре 300-700°C во время указанного послесварочного временного интервала, составляющего 5-50 с.

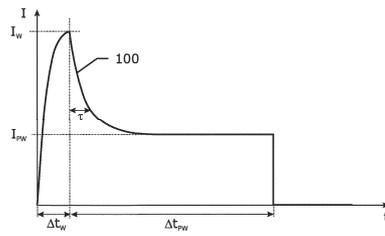
11. Устройство по п.10, в котором во время программируемых временных интервалов получение подаваемого тока и считанного напряжения может управляться для установки определенного значения.

12. Устройство по пп.10 или 11, в котором упомянутый программируемый контроллер может переключаться в пределах 10 мс между любыми двумя из следующих режимов: режим управляемого выходного тока, режим считываемого управляемого напряжения или режим управляемой выходной мощности на конкретных временных интервалах.

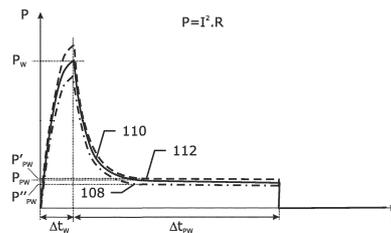
13. Устройство по любому из пп.10-12, в котором временем перехода для переключения с любого значения тока, напряжения или мощности на любое другое значение тока, напряжения или мощности можно управлять в пределах между 10 и 1000 мс.



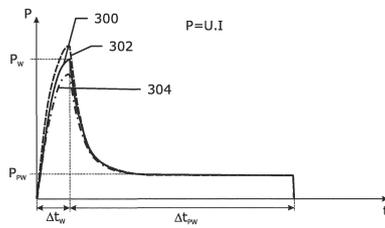
Фиг. 1



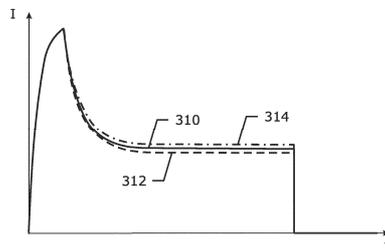
Фиг. 2а



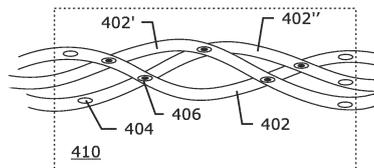
Фиг. 2b



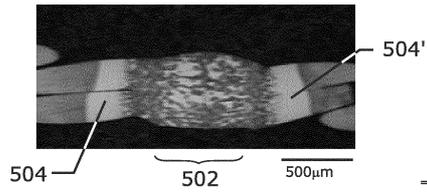
Фиг. 3а



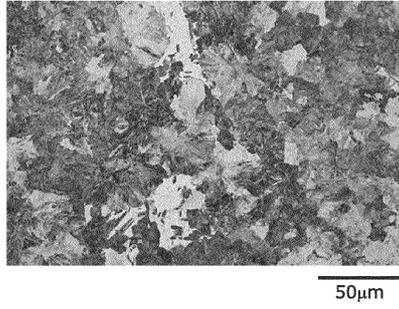
Фиг. 3b



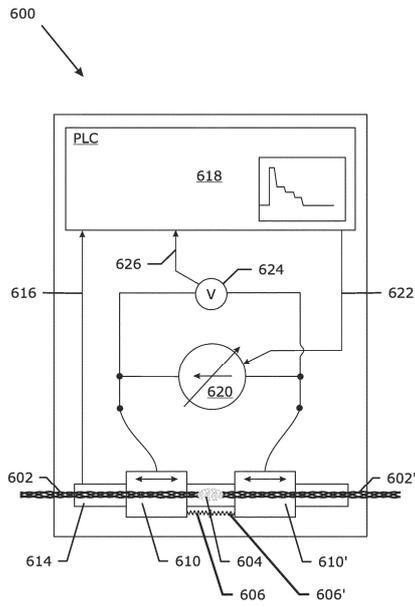
Фиг. 4



Фиг. 5а



Фиг. 5b



Фиг. 6