

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **034923**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.04.07

(21) Номер заявки
201790096

(22) Дата подачи заявки
2015.06.23

(51) Int. Cl. **B21C 37/08** (2006.01)
B21D 5/01 (2006.01)
B21D 22/16 (2006.01)
C21D 1/26 (2006.01)
F16L 9/17 (2006.01)
B21D 5/10 (2006.01)
B23K 9/025 (2006.01)
B23K 26/26 (2014.01)

(54) РОТАЦИОННОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ ТРУБ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СПЛАВОВ И ТРУБЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ С ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

(31) 62/018,133

(32) 2014.06.27

(33) US

(43) 2017.06.30

(86) PCT/US2015/037185

(87) WO 2015/200325 2015.12.30

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭйТиАй ПРОПЕРТИЗ ЭлЭлСи (US)

(72) Изобретатель:
Фонте Мэттью В. (US)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) US-A1-2006070688

JP-A-2004243354

JP-A-2009030095

JP-A-2007217716

WO-A1-2010073476

Anonymous: "Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steels", Nickel Institute, 2009, pages 1-64, XP002744802, Retrieved from the Internet: URL:[http://www.nickelinstitute.Org/-/Media/Files/TechnicalLiterature/DuplexGuide_16000_.pdf#page=](http://www.nickelinstitute.Org/-/Media/Files/TechnicalLiterature/DuplexGuide_16000_.pdf#page=1) [retrieved on 2015-09-21] page 5, page 23-page 25, page 30-page 31, page 40-page 46, page 49, page 52

(57) Описаны способы ротационного выдавливания для изготовления труб из коррозионностойких сплавов, включающие деформирование плиты из коррозионностойкого сплава с получением полой цилиндрической заготовки, имеющей продольную область шва, находящуюся между двумя примыкающими концами деформированной плиты; сварку продольной области шва для соединения друг с другом примыкающих концов и ротационное выдавливание полой цилиндрической заготовки с получением трубы из коррозионностойкого сплава.

B1**034923****034923****B1**

Перекрестная ссылка на родственные заявки

В соответствии со статьей 8 РСТ и статьей 4 Парижской конвенции по охране промышленной собственности эта международная заявка на патент испрашивает приоритет находящейся на одновременном рассмотрении предварительной заявки на патент США № 62/018133, поданной 27 июня 2014 г. Содержание предварительной заявки на патент США № 62/018133 включено по ссылке в эту международную заявку на патент.

Предпосылки создания изобретения

Информация, приведенная в этом разделе, не предназначена считаться уровнем техники.

"Трубные изделия для нефтяных месторождений" (OCTG) представляют собой трубы и трубные изделия, используемые в нефтяной и газовой промышленности. OCTG включают такие изделия, как буровые трубы, обсадные трубы и транспортировочные трубы.

Буровые трубы представляют собой толстостенные трубы, при помощи которых приводят во вращение буровые долота и обеспечивают циркуляцию буровых текучих сред при выполнении операций бурения на нефть и природный газ. Во время работы на буровые трубы одновременно воздействуют большие крутящие моменты, нагрузки, вызывающие продольные сжатие и растяжение, а также внутреннее давление, создаваемое буровыми текучими средами. Кроме того, к этим основным схемам нагружения могут добавляться изгибающие нагрузки с переменным знаком из-за невертикального бурения или бурения с отклонением. Обсадные трубы используются для облицовки пробуренных скважин. На обсадные трубы воздействуют продольные растягивающие нагрузки, нагрузки из-за внутреннего давления во время транспортировки текучих сред и нагрузки из-за внешнего давления, создаваемого окружающими горными породами. Транспортировочные трубы представляют собой трубы, по которым транспортируют нефть или природный газ из скважины, и на них воздействуют нагрузки из-за внутреннего давления.

Важными характеристиками изделий OCTG являются прочность и коррозионная стойкость в условиях эксплуатации с сернистыми средами (содержащими сероводород), кислотами и/или высокими температурой и давлением. Поэтому изделия OCTG в основном изготавливают из высокопрочных коррозионностойких сплавов (CRA).

Сущность изобретения

Это описание относится к способам изготовления труб из коррозионностойких сплавов с использованием операций ротационного выдавливания. Это описание также относится к трубам из коррозионностойких сплавов, изготовленных с использованием изложенных в данном описании способов.

В одном примере способ изготовления трубы содержит деформирование плиты из коррозионностойкого сплава с получением полой цилиндрической заготовки, имеющей продольную область шва, находящуюся между двумя примыкающими концами деформированной плиты. Продольную область шва сваривают (заваривают) с соединением примыкающих концов. Выполняют ротационное выдавливание сваренной полой цилиндрической заготовки с получением трубы из коррозионностойкого сплава.

В другом примере способ изготовления трубы содержит деформирование плиты из нержавеющей стали с получением полой цилиндрической заготовки, имеющей продольную область шва, находящуюся между двумя примыкающими концами деформированной плиты. Нержавеющая сталь включает дуплексную, супердуплексную или гипердуплексную нержавеющую сталь. Продольную область шва заваривают лазером с соединением примыкающих концов. Сваренную лазерной сваркой заготовку отжигают. Выполняют ротационное выдавливание сваренной лазерной сваркой полой цилиндрической заготовки при температуре холодной обработки давлением с получением трубы из нержавеющей стали.

Понятно, что изложенные в этом описании изобретения не обязательно ограничиваются примерами, в общих чертах приведенными в этом разделе.

Краткое описание чертежей

Различные признаки и характеристики изобретений, изложенных в этом описании, могут быть лучше поняты при обращении к сопровождающим чертежам, на которых

фиг. 1А - вид в перспективе (не в масштабе) плиты из сплава;

фиг. 1В - вид в перспективе (не в масштабе) полой цилиндрической заготовки с открытым швом (открытым стыком), полученной из плиты из сплава, показанной на фиг. 1А;

фиг. 1С - вид в перспективе (не в масштабе) полой цилиндрической заготовки с закрытым швом (заваренным стыком), полученной из заготовки с открытым швом, показанной на фиг. 1В;

фиг. 2А и 2В - схематичные виды соответственно в перспективе и в разрезе, иллюстрирующие трехвалковое устройство для изгиба плиты, деформирующее плиту из сплава в полую цилиндрическую заготовку с открытым швом;

фиг. 3А - ряд схематичных видов, изображающих последовательность рабочих клеток при выполнении операции непрерывного формования на валках;

фиг. 3В - схематичный вид стана для формования на валках, в котором последовательность рабочих клеток постепенно превращает полосу из сплава в трубу с открытым швом на формовочной линии в форме воронки;

фиг. 4А - схематичный вид в перспективе U-образного пресса, деформирующего плиту из сплава в U-образный полуфабрикат;

фиг. 4В - схематичный вид в перспективе О-образного пресса, деформирующего U-образный полуфабрикат в полую цилиндрическую заготовку с открытым швом;

фиг. 5 - схематичный вид в разрезе, иллюстрирующий выполнение операции расширения трубы, радиально расширяющей (сваренную) полую цилиндрическую заготовку с закрытым швом;

фиг. 6 - диаграмма выделения фаз в изотермических условиях, показывающая кривые превращения "время-температура" для первой дуплексной нержавеющей стали (сплав 2205, соответствующий UNS №№ S31803 и S32205), второй дуплексной нержавеющей стали (сплав 2304, соответствующий UNS №№ S32304) и супердуплексной нержавеющей стали (сплав 2507, соответствующий UNS №№ S32750 и S32760), отожженных при 1050°C (1920°F);

фиг. 7 - схематичный вид в перспективе, иллюстрирующий устройство ротационного выдавливания;

фиг. 8 - схематичный вид сбоку в разрезе, иллюстрирующий операцию прямого ротационного выдавливания;

фиг. 9 - схематичный вид сбоку в разрезе, иллюстрирующий операцию обратного ротационного выдавливания;

фиг. 10 - схематичный вид в перспективе, иллюстрирующий ролики для ротационного выдавливания;

фиг. 11 - схематичный вид сбоку в разрезе, иллюстрирующий ориентацию роликов для ротационного выдавливания и обрабатываемую деталь при выполнении операции ротационного выдавливания;

фиг. 12 - схематичный вид в перспективе, иллюстрирующий операцию ротационного выдавливания, в которой полую цилиндрическую заготовку с закрытым швом (сваренную) деформируют для получения бесшовной трубы;

фиг. 13 - схематичный вид с торца, иллюстрирующий операцию ротационного выдавливания, в которой полую цилиндрическую заготовку с закрытым швом (сваренную) деформируют с использованием четырехроlikовой конфигурации для получения бесшовной трубы;

фиг. 14А - фотография, показывающая полученную ротационным выдавливанием трубу из сплава 625 (справа) и прокатанную и сваренную заготовку из сплава 625 (слева), аналогичную той заготовке, из которой ротационным выдавливанием получили эту трубу;

фиг. 14В - фотография, показывающая остающийся сварной шов на ведомом конце полученной ротационным выдавливанием трубы на фиг. 14А;

фиг. 15 - фотография прокатанных и сваренных заготовок из сплава Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al;

фиг. 16 - фотография частично прошедшей ротационное выдавливание заготовки/трубы из сплава Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al; и

фиг. 17 - фотография прокатанных и сваренных заготовок из супердуплексной нержавеющей стали (UNS S32760).

Читателю станут понятными вышеуказанные, а также другие признаки и характеристики после ознакомления с приведенным далее подробным описанием изобретений согласно этому описанию.

Подробное описание

Операции бурения и добычи нефти и газа все чаще стали выполняться в глубоких скважинах, где предполагаются более высокие температуры и давления, а также более коррозионные и эрозионные среды. В дополнение к этому в нефтегазовой отрасли обычным становится применение технологий интенсифицированного извлечения, таких как гидроразрыв пласта, нагнетание пара, нагнетание углекислого газа, внутрискважинное горение и т.п., что требует надежного оборудования с увеличенными сроками эксплуатации. Вместе с жесткими окружающими условиями и рабочими параметрами, при которых работает оборудование для бурения на нефть и газ и их добычи, необходимо принимать в расчет уменьшение веса и другие относящиеся к экономическим затратам факторы. Эти факторы задают практические ограничения по конструкционным материалам оборудования для бурения на нефть и газ и их добычи.

Следовательно, изделия OCTG и другие детали оборудования для бурения на нефть и газ и их добычи можно изготавливать из высокопрочных CRA-сплавов, таких как, например, мартенситные нержавеющие стали, мартенситно-ферритные нержавеющие стали, аустенитные нержавеющие стали, дуплексные (аустенитно-ферритные) нержавеющие стали, супердуплексные (аустенитно-ферритные) нержавеющие стали, гипердуплексные (аустенитно-ферритные) нержавеющие стали, аустенитные сплавы на основе никеля, аустенитные суперсплавы на основе никеля и сплавы на основе титана. Эти CRA-сплавы обеспечивают сочетание прочности, вязкости разрушения, коррозионной стойкости, формовости и экономической эффективности материала, которые делают эти сплавы подходящими для изделий OCTG.

Большая часть рынка изделий OCTG - это трубы большого диаметра (например, трубы с внешними диаметрами по меньшей мере 6,625 дюйма (168,3 мм)). Однако известные способы изготовления труб большого диаметра обладают рядом недостатков. Для примера, известные способы изготовления бесшовных труб, такие как способы прошивки и пилигримовой прокатки (процесс Маннесманна), способы прошивки и прокатки на короткой оправке (процесс Штифеля), способы прошивки и прокатки на длинной оправке, способы с использованием протяжного стана с речным толкателем, способы прошивки и вытяжки и способы горячего прессования часто не позволяют изготавливать трубную заготовку из CRA-

сплава с достаточным размером для получения готовых труб, имеющих сочетание больших внешнего диаметра, толщины стенки и длины, подходящее для изделий OCTG.

Известные способы изготовления сварных труб также обладают рядом недостатков в плане изготовления труб из CRA-сплавов, включая невозможность эффективным образом формовать и сваривать относительно большие и толстые листовые заготовки из CRA-сплавов (например, с длинами по меньшей мере 8 футов (2,4 м), ширинами по меньшей мере 6,5 дюйма (165,1 мм) и толщинами по меньшей мере 0,75 дюйма (19,1 мм)) в полые цилиндрические заготовки. Возможность формовать и сваривать относительно большие и толстые листовые заготовки из CRA-сплавов в полые цилиндрические заготовки важна при изготовлении труб большого диаметра из CRA-сплавов в подвергнутом холодной обработке давлением (нагартованном) состоянии, что требует выполнения последующих операций холодного формования для достижения прочностных свойств, требуемых в соответствии со спецификациями на OCTG.

В общем требуется, чтобы изделия OCTG соответствовали спецификациям различных промышленных стандартов, включая Specification 5CRA Американского национального института стандартов (ANSI)/Американского института нефти (API), первое издание, февраль 2010 (Спецификация на бесшовные трубы из коррозионностойких сплавов для применения в номенклатуре обсадных, эксплуатационных и соединительных элементов) (ANSI/API Specification 5CRA). Спецификация ANSI/API Specification 5CRA эквивалентна стандарту ISO 13680:2008 (измененный). Спецификация ANSI/API Specification 5CRA включена по ссылке в это описание.

Спецификация ANSI/API Specification 5CRA устанавливает, среди прочих требований, ряд требований к микроструктуре, механическим свойствам и составу изделий OCTG, изготовленных из CRA-сплавов, включая мартенситные нержавеющие стали, мартенситно-ферритные нержавеющие стали, дуплексные (аустенитно-ферритные) нержавеющие стали, супердуплексные (аустенитно-ферритные) нержавеющие стали, аустенитные нержавеющие стали и аустенитные сплавы на основе никеля. Например, спецификация ANSI/API Specification 5CRA устанавливает требования, помимо прочих свойств, по пределу текучести при комнатной температуре (условному пределу текучести при остаточной деформации 0,2%), пределу прочности при растяжении, относительному удлинению и твердости по шкале С Роквелла (HRC) к изделиям OCTG в различных состояниях, применимые для конкретных CRA-сплавов (например, после горячей отделки, закалки и отпуска, отжига на твердый раствор или нагартовки).

Производство труб из CRA-сплавов (особенно, нагартованных труб большого диаметра из CRA-сплавов), которые отвечают требованиям спецификации ANSI/API Specification 5CRA, оказалось коммерчески нецелесообразным при известных способах изготовления сварных труб. Однако изложенные в этом описании способы позволяют решить и преодолеть эту проблему коммерческой нецелесообразности и изготавливать сварные и бесшовные, подвергнутые холодной обработке давлением (нагартованные) трубы из CRA-сплавов (включая трубы большого диаметра, но не ограничиваясь ими), которые могут соответствовать требованиям спецификации ANSI/API Specification 5CRA.

Способ изготовления трубы содержит деформирование плиты из сплава с получением полой цилиндрической заготовки. Полая цилиндрическая заготовка вначале представляет собой заготовку с открытым швом (стыком), имеющую продольную область шва, находящуюся между двумя примыкающими концами деформированной в цилиндрическую форму плиты. Продольную область шва сваривают (заваривают), чтобы соединить друг с другом примыкающие концы и получить заготовку с закрытым швом (заваренным стыком). Полуую цилиндрическую заготовку с закрытым швом (сваренную) можно подвергнуть радиальному расширению. Заготовку с закрытым швом (необязательно подвергнутую радиальному расширению) подвергают ротационному выдавливанию, чтобы получить подвергнутую холодной обработке давлением (нагартованную) бесшовную трубу из сплава.

Используемый здесь термин "труба" относится к любому полному цилиндрическому трубчатому изделию. Соответственно, термин "труба" охватывает и включает трубы и другие трубопроводы, имеющие поперечное сечение кольцевой формы вне зависимости от размеров.

На фиг. 1А прямоугольная плита 10 из сплава имеет противоположные продольные концы 12а, 12b и противоположные основные поверхности 14а, 14b. Плиту 10 из сплава деформируют в полуую цилиндрическую заготовку 10', как показано на фиг. 1В. Полая цилиндрическая заготовка 10' представляет собой заготовку с открытым швом, имеющую продольную область 16 шва, находящуюся между примыкающими продольными концами 12а, 12b. Используемый здесь термин "с открытым швом" относится к первоначально несваренному состоянию продольной области, находящейся между примыкающими продольными концами деформированной в цилиндрическую форму плиты, а термин "с закрытым швом" относится к впоследствии сваренному состоянию этой продольной области. В заготовке с открытым швом примыкающие продольные концы могут находиться в физическом контакте или с небольшим зазором между ними.

С целью иллюстрации продольная область 16 шва показана на фиг. 1В с зазором между примыкающими продольными концами 12а, 12b. Следует понимать, что на практике любой зазор между примыкающими продольными концами должен быть достаточно маленьким, чтобы сделать возможным последующее сваривание этих примыкающих продольных концов друг с другом. Соответственно, используемый здесь термин "примыкающие" относится либо к непосредственному физическому контакту, либо

к ориентации друг напротив друга, при которой зазор между обращенными друг к другу продольными концами достаточно мал, чтобы сделать возможным последующее сваривание примыкающих продольных концов. Размер любого зазора между примыкающими продольными концами в области шва может определяться методом сварки, используемым для соединения друг с другом этих продольных концов.

Выполняют сварку (заваривание) продольной области 16 шва, чтобы соединить друг с другом примыкающие концы 12a и 12b и получить заготовку 10" с закрытым швом, как показано на фиг. 1С. Полая цилиндрическая заготовка 10" с закрытым швом содержит сварной шов 18, соединяющий друг с другом концы 12a и 12b.

Деформирование плиты из сплава для получения полой цилиндрической заготовки с открытым швом можно выполнять с использованием операции гибки на валках. Используемый здесь термин "гибка на валках" относится к изгибанию отдельной плиты из сплава в ходе периодической операции (по одной плите за один раз), в которой используется, например, трехвалковое гибочное устройство или аналогичное оборудование. Например, на фиг. 2А и 2В схематично показано получение полой цилиндрической заготовки 20' с открытым швом, имеющей продольную область 26 шва, находящуюся между примыкающими концами 22a и 22b деформированной плиты 20, в трехвалковом гибочном устройстве с валками 25a, 25b, 25c. Используемая здесь "гибка на валках" отличается от формования на валках, при котором непрерывную полосу из сплава подают через стан для формования на валках, в котором последовательность рабочих клеток постепенно превращает полосу в трубу с открытым швом посредством формовочной линии в форме воронки (см. фиг. 3А и 3В). В различных вариантах воплощения операции формования на валках (включая операции непрерывного и/или высокоскоростного формования на валках, такие как описанные, например, в патенте США № 6880220 на имя Gandy) могут не подойти для изготовления заготовок из-за того, что станы для формования на валках могут оказаться неспособными пластически деформировать большие и толстые листовые заготовки (например, с толщинами по меньшей мере 0,75 дюйма (19,1 мм)) в полые цилиндрические заготовки.

Деформирование плиты из сплава для получения полой цилиндрической заготовки с открытым швом может быть выполнено с использованием операции U-О прессования. Используемый здесь термин "U-О прессование" относится к последовательному прессованию листовой заготовки в U-образном прессе для получения полуфабриката с поперечным сечением U-образной формы, с последующим прессованием такого U-образного полуфабриката в О-образном прессе для получения полой цилиндрической заготовки с открытым швом, имеющей поперечное сечение О-образной формы. Например, фиг. 4А схематично иллюстрирует прессование плиты в U-образном прессе для получения U-образного полуфабриката 40, имеющего продольные концы 42a и 42b, а фиг. 4В схематично иллюстрирует последующее прессование полученного U-образного полуфабриката в О-образном прессе для получения полой цилиндрической заготовки 40' с открытым швом, имеющей продольную область 46 шва, находящуюся между примыкающими продольными концами 42a и 42b.

В операции U-прессования закругленный по радиусу инструмент продавлиывает плиту вниз между двумя опорами, часто за один ход пресса. Ближе к концу операции расстояние между двумя опорами может быть уменьшено для приложения небольшой степени перегиба, чтобы компенсировать какое-либо обратное пружинение. В ходе последующей операции О-прессования U-образный полуфабрикат формируют в О-образную заготовку, обычно за один ход пресса. Выполняемые в ходе операции U-О прессования операции деформирования координируют, чтобы обеспечить эффективную компенсацию эффекта обратного пружинения и чтобы заготовка с открытым швом была как можно более круглой и с как можно более ровным совмещенными примыкающими продольными концами. В различных вариантах воплощения операции U-О прессования может предшествовать операция С-прессования, в которой прямоугольную плиту сначала прессуют в С-образном прессе с получением полуфабриката с поперечным сечением С-образной формы, этот С-образный полуфабрикат прессуют в U-образном прессе с получением полуфабриката с поперечным сечением U-образной формы, а U-образный полуфабрикат прессуют в О-образном прессе с получением полой цилиндрической заготовки с открытым швом, имеющей поперечное сечение О-образной формы.

Описанные выше операции гибки на валках и U-О прессования являются примерными методами деформирования плиты из сплава в полую цилиндрическую заготовку с открытым швом. Деформирование можно также выполнять с использованием других операций формования на прессе или штамповки, позволяющих деформировать относительно толстые плиты из сплава в полые цилиндрические заготовки с открытым швом.

Деформирование плиты из сплава для получения полой цилиндрической заготовки с открытым швом можно выполнять при температуре холодной обработки давлением. Используемый здесь термин "температура холодной обработки давлением" относится к температурам, которые меньше температуры рекристаллизации сплава. В различных вариантах воплощения плиту из сплава можно деформировать в полую цилиндрическую заготовку с открытым швом при температуре холодной обработки давлением, которая меньше 500°C, меньше 400°C, меньше 300°C, меньше 200°C или меньше 100°C. В различных вариантах воплощения плиту из сплава можно деформировать в полую цилиндрическую заготовку с открытым швом при комнатной температуре (т.е. температуре в начале операции деформирования и без

учета адиабатического нагрева во время пластического деформирования).

В различных вариантах воплощения полую цилиндрическую заготовку с открытым швом получают из плиты таким образом, чтобы зерна сплава были значительно ориентированы в продольном направлении заготовки. Это можно осуществить, например, путем обеспечения прямоугольных плит из сплава, зерна которых значительно ориентированы по длине (в направлении продольных кромок) плиты, что можно обеспечить путем теплой или горячей прокатки слябов или плит-полуфабрикатов до конечной толщины плиты, причем направление прокатки совпадает с длиной (размером по длине) плиты. Используемый здесь термин "значительно ориентированы" относится к состоянию текстуры сплава, при котором большинство длинных осей составляющих его зерен наклонены в одном из трех главных направлений (длина, ширина, толщина). Являются ли зерна данного образца сплава "значительно ориентированными" в конкретном направлении, можно определить металлографически, используя полученные в микроскопе изображения. Значительное ориентирование зерен материала сплава в продольном направлении заготовки может обеспечить более действенные и эффективные операции ротационного выдавливания.

Плиты из сплава, которые деформированы в полые цилиндрические заготовки с открытым швом, можно обеспечить путем операций горячей прокатки. Можно расплавить шихтовые материалы сплава, чтобы обеспечить заранее заданный химический состав сплава, а из расплавленного материала отлить слиток или сляб в ходе металлургической операции. Примеры металлургических операций, подходящих для обеспечения литейных CRA-сплавов, включают, например, непрерывное литье слябов, вакуумно-индукционную плавку (VIM, ВИП) и литье слитков, а также электродуговые плавку и литье слитков. Также можно применять промежуточные операции рафинирования, включая, например, аргонокислородное обезуглероживание (AOD), вакуумно-кислородное обезуглероживание (VOD), электрошлаковое рафинирование/переплав (ESR, ЭШП) и/или вакуумно-дуговой переплав (VAR, ВПД). Слиток литейного сплава может быть подвергнут горячей ковке (например, ковке выше температуры рекристаллизации сплава) в сляб или промежуточный продукт другого вида, подходящий для прокатки. Отлитый сляб можно прокатывать непосредственно.

Литые или горячекованные слябы из сплава (часто толщиной 6-12 дюймов (152,4-308,4 мм) могут быть нагреты до температур выше температуры рекристаллизации сплава и прокатаны до толщин плит, таких как, например, от 0,5 до 1,75 дюйма (12,7-44,5 мм). Прокатываемые слябы удлиняются в направлении прокатки, которое обычно совпадает с длиной (размером по длине) плит, получаемых в ходе операций горячей прокатки, и поэтому зерна в плитах из сплава значительно ориентированы в направлении по длине (направлении продольных кромок) плит. Горячекатаные плиты можно разрезать до нужных размеров прямоугольника, таких как, например, длины по меньшей мере 8 футов (2,4 м) и ширины по меньшей мере 6,5 дюйма (165,1 мм). Горячекатаные плиты можно затем непосредственно деформировать в полые цилиндрические заготовки с открытым швом в ходе операций гибки на валках, U-О прессования или других подходящих операций формования. Плиты, используемые для получения полых цилиндрических заготовок с открытым швом, можно использовать в состоянии после горячей обработки давлением, которое в общем аналогично размягченному отожженному состоянию, так как последующие операции ротационного выдавливания могут измельчать зеренную структуру сплава.

Перед деформированием плиты из сплава в полую цилиндрическую заготовку с открытым швом эту плиту можно подвергнуть шлифованию или механической обработке. Основные верхняя и нижняя поверхности плиты могут быть отшлифованы или механически обработаны для повышения плоскостности плиты. Например, основные верхняя и нижняя поверхности плиты могут быть отшлифованы или подвергнуты механической обработке (резанием), чтобы обеспечить плоскостность плиты по меньшей мере $\pm 0,020$ дюйма ($\pm 0,508$ мм). Продольные концы и/или поперечные концы (торцы) прямоугольной плиты также можно подвергнуть шлифованию или механической обработке перед деформированием, чтобы обеспечить параллельность противоположных концов и перпендикулярность продольных концов поперечным. Противоположные продольные концы плиты также можно подвергнуть механической обработке перед деформированием, чтобы подготовить нужные кромки под сварку на этих концах.

Перед деформированием плиты из сплава в полую цилиндрическую заготовку с открытым швом продольные концы этой плиты можно предварительно изогнуть в прессе для изгиба (подгибания) кромок. Радиус изгиба кромок, полученный на плите в прессе для изгиба (подгибания) кромок, может в общем соответствовать заранее заданному диаметру получаемой затем полый цилиндрической заготовки с открытым швом.

После получения полый цилиндрической заготовки с открытым швом и до заваривания продольной области шва для соединения друг с другом примыкающих концов в продольной области шва можно выполнить прихватывание сваркой в отдельных местах по длине этой области шва. Например, примыкающие концы можно прижать друг к другу до физического контакта на прихваточном стенде и прихватить сваркой в отдельных местах по длине области шва, чтобы устранить какой-либо зазор между примыкающими концами. Прихваченную сваркой полую цилиндрическую заготовку можно затем подвергнуть последующей операции сварки для полного заваривания продольной области шва.

Продольную область шва в полый цилиндрической заготовке с открытым швом можно заваривать с использованием таких методов сварки, как, например, дуговая сварка неплавящимся электродом в среде

инертного газа (TIG), дуговая сварка металлическим электродом в среде инертного газа (MIG), плазменно-дуговая сварка, сварка трением с перемешиванием, электронно-лучевая сварка или лазерная сварка. В различных вариантах воплощения продольную область шва заваривают с использованием бесприсадочного метода сварки, такого как, например, лазерная сварка, которая не приводит к введению какого-либо дополнительного сварочного сплава в область шва. Заваривание продольной области шва может включать два прохода: внешний проход вдоль области шва по внешней поверхности заготовки и внутренний проход вдоль области шва по внутренней поверхности заготовки.

В вариантах воплощения с методом сварки, в котором используется присадочный материал, состав сварочного сплава может быть идентичным или аналогичным сплаву, составляющему плиту/заготовку. Например, в операциях сварки TIG или MIG могут использоваться присадочная проволока или расходный электрод, имеющие состав сварочного сплава, который идентичен или аналогичен сплаву, составляющему плиту/заготовку. В некоторых вариантах воплощения сварочный сплав может быть избыточно легирован по меньшей мере одним стабилизирующим аустенит элементом (например, никелем, марганцем, медью, азотом и/или углеродом). Уровень такого избыточного легирования сварочного сплава может быть рассчитан или выбран таким образом, чтобы гарантировать, что химический состав и микроструктура сварного шва в заготовке остаются в пределах спецификации сплава, составляющего плиту/заготовку. Например, в тех вариантах воплощения, где используется заготовка из дуплексной или супердуплексной нержавеющей стали, при выполнении операции TIG, MIG или плазменно-дуговой сварки для закрывания продольного шва может использоваться сварочный сплав дуплексной или супердуплексной нержавеющей стали. По химическому составу сварочный сплав дуплексной или супердуплексной нержавеющей стали может быть слегка перелегирован, например, никелем или марганцем, но он по-прежнему находится в пределах спецификации для дуплексной или супердуплексной нержавеющей стали заготовки.

Заваривание продольной области шва можно необязательно выполнять в атмосфере газообразного азота. Например, атмосфера газообразного азота может быть обеспечена защитным газом азотом, поступающим из форсунок, направленных на продольную область шва во время прохода при сварке полый цилиндрической заготовки. Операции лазерной сварки, например, дают очень ограниченные зоны термического влияния и быстрое охлаждение сваренной продольной области шва, что уменьшает или предотвращает образование интерметаллических фаз. Однако высокая скорость охлаждения, связанная с лазерной сваркой, может привести к излишнему образованию феррита в зоне сварного шва при лазерной сварке дуплексных, супердуплексных или гипердуплексных нержавеющей сталей. Азот является стабилизирующим аустенит химическим элементом, и поэтому лазерная сварка в атмосфере газообразного азота может помочь в сохранении относительных долей аустенита и феррита в зоне сварного шва в тех вариантах воплощения, в которых используются CRA-сплавы в виде дуплексных, супердуплексных или гипердуплексных нержавеющей сталей.

Во время заваривания продольной области шва по длине сварного шва может возникать валик сварного шва. Валик сварного шва можно удалить с использованием, например, операции выглаживания, операции строгания (резания), операции механической обработки, операции шлифования или операции полирования. Валик сварного шва также может быть разглажен с использованием операции прокатки, как описано, например, в патенте США № 6375059, который включен по ссылке в это описание.

Полую цилиндрическую заготовку с закрытым швом (сваренную) можно необязательно подвергнуть радиальному расширению перед ротационным выдавливанием. Радиальное расширение сваренной полый цилиндрической заготовки можно выполнять с использованием гидравлического или механического расширителя. Фиг. 5 схематично иллюстрирует радиальное расширение полый цилиндрической заготовки 50 с закрытым швом, содержащей продольный сварной шов 58. При радиальном расширении полый цилиндрической заготовки с закрытым швом происходит пластическое деформирование материала и увеличивается круглость в поперечном сечении заготовки и ее продольная прямолинейность, что может облегчить выполнение последующих операций ротационного выдавливания.

Полую цилиндрическую заготовку с закрытым швом (сваренную) можно подвергать радиальному расширению по меньшей мере на 0,5% ее первоначального внутреннего диаметра. Например, заготовку можно расширять по меньшей мере на 1%, по меньшей мере 1,5% или по меньшей мере на 2% ее первоначального внутреннего диаметра. Полую цилиндрическую заготовку с закрытым швом (сваренную) можно расширять не более чем на 6% ее первоначального внутреннего диаметра. Например, заготовку можно расширять не более чем на 5%, не более чем на 4% или не более чем на 3% ее первоначального внутреннего диаметра. В общем, степень радиального расширения, если она имеется, может быть минимально необходимой для достижения достаточных круглости и прямолинейности для соответствия допускам при ротационном выдавливании. Степень расширения должна исключать разрыв сварного шва и исключать наклеп/нагартовку материала сплава.

Необязательное расширение полый цилиндрической заготовки с закрытым швом (сваренной) можно выполнять при температуре менее 500°C. Например, радиальное расширение можно выполнять при температуре менее 500°C, менее 400°C, менее 300°C, менее 200°C или менее 100°C. Радиальное расширение можно выполнять при комнатной температуре.

После операции сварки и до операции ротационного выдавливания полую цилиндрическую заготовку с закрытым швом (сваренную) можно необязательно подвергнуть отжигу. В вариантах воплощения, содержащих необязательную операцию расширения, необязательную операцию отжига можно выполнять после операции сварки и либо до операции расширения, либо между операцией расширения и операцией ротационного выдавливания. Подходящую температуру отжига можно выбрать на основе характера материала сплава заготовки.

Например, заготовки из дуплексной нержавеющей стали можно подвергать отжигу при температуре в диапазоне от 875 до 1200°C (1607-2192°F) или в любом входящем в него поддиапазоне, например от 1010 до 1177°C (1850-2150°F), от 982 до 1149°C (1800-2100°F), от 950 до 1150°C (1742-2102°F) или от 1000 до 1100°C (1832-2012°F). Заготовки из супердуплексной и гипердуплексной нержавеющей стали, например, можно подвергать отжигу при температуре в диапазоне от 950 до 1200°C (1742-2192°F) или в любом входящем в него поддиапазоне, например от 1010 до 1177°C (1850-2150°F), от 982 до 1149°C (1800-2100°F), от 1050 до 1150°C (1922-2102°F) или от 1075 до 1100°C (1967-2012°F). В общем, в случае дуплексных, супердуплексных и гипердуплексных нержавеющих сталей отжиг при подходящих более высоких температурах склонен увеличивать содержание феррита по сравнению с отжигом при подходящих более низких температурах.

Используемый здесь нагрев заготовки в течение указанного периода времени или временного промежутка "при" указанной температуре или диапазоне температур (т.е. режим "время при температуре") означает нагрев заготовки на указанный период времени или временной промежуток, измеряемый с того момента, когда температура поверхности заготовки (измеренная, например, с использованием термопары, пирометра или т.п.) достигает значения $\pm 14^\circ\text{C}$ ($\pm 25^\circ\text{F}$) от указанной температуры или диапазона температур. Используемый здесь режим "указанное время при указанной температуре" не включает длительность подогрева для доведения температуры поверхности заготовки до значения $\pm 14^\circ\text{C}$ ($\pm 25^\circ\text{F}$) от указанной температуры или диапазона температур. Используемый здесь термин "время пребывания в печи" означает количество времени, которое обрабатываемая деталь находится в среде с контролируемой температурой, например в предварительно нагретой печи, и не включает время, необходимое для того, чтобы довести среду с контролируемой температурой до указанных температуры или диапазона температур.

Обработки отжигом можно выполнять при температурах выше температуры рекристаллизации сплава (включая сплав деформированной плиты и любой сварочный сплав, который может использоваться для закрывания продольной области шва деформированной плиты). При обработках отжигом может происходить рекристаллизация, по меньшей мере, зоны термического влияния сваренной заготовки, может происходить рекристаллизация большей части сваренной заготовки или же может происходить рекристаллизация всей сваренной заготовки.

Обработки отжигом можно выполнять путем нагрева заготовки до температуры ее поверхности, находящейся в диапазоне температур отжига, и последующей выдержки заготовки с соблюдением заранее заданного режима "время при температуре" перед ее охлаждением (например, в результате удаления заготовки из печи для отжига). Например, заготовку можно нагреть до указанной температуры поверхности, находящейся в диапазоне температур отжига, и затем выдерживать при этой температуре в течение по меньшей мере 5 мин, по меньшей мере 10 мин, по меньшей мере 15 мин, по меньшей мере 20 мин, по меньшей мере 25 мин или по меньшей мере 30 мин ("время при температуре"). В качестве альтернативы обработки отжигом можно выполнять путем помещения заготовки в работающую при заданной температуре печь для отжига (или другую среду с контролируемой температурой) и затем выдержки заготовки в печи в течение заранее заданного времени пребывания в печи перед охлаждением заготовки (например, в результате ее удаления из печи для отжига). Например, заготовку можно поместить в печь для отжига, работающую при указанной температуре в диапазоне температур отжига, и затем выдерживать в этой печи в течение по меньшей мере 5 мин, по меньшей мере 10 мин, по меньшей мере 15 мин, по меньшей мере 20 мин, по меньшей мере 25 мин или по меньшей мере 30 мин ("время пребывания в печи"). Заготовку можно выдерживать при заданной температуре или в работающей печи в течение периода времени, который не превышает, например, 60, 45, 30 или 15 мин (как вариант, это может быть "время при температуре" или "время пребывания в печи").

В вариантах воплощения, содержащих необязательную операцию отжига, отоженная заготовка может быть подвергнута закалке от температур отжига после указанного "времени при температуре" или "времени пребывания в печи". Например, заготовка может быть подвергнута закалке от температуры отжига спустя не более чем 30 мин, не более чем 25 мин, не более чем 20 мин или не более чем 15 мин (как вариант, это может быть "время при температуре" или "время пребывания в печи"). Закалку можно выполнять со скоростью охлаждения, которая предотвращает выделение вредных фаз во время охлаждения. Такие скорости охлаждения могут быть обеспечены, например, с использованием операции закалки в воде.

Например, в дуплексных, супердуплексных и гипердуплексных нержавеющих сталях при определенных температурах за несколько минут могут быстро образовываться вредные сигма-фазы, хи-фазы,

альфа-штрих фазы, карбиды и/или нитриды. Для примера в табл. 1 приведены типичные температуры для реакций выделения фаз и других характерных реакций в дуплексной (UNS S31803 и S32205) и супердуплексной (UNS S32750 и S32760) нержавеющей стали.

Таблица 1

	UNS S31803 и S32205		UNS S32750 и S32760	
	°C	°F	°C	°F
Диапазон кристаллизации	1445–1385	2630–2525	1450–1390	2640–2535
Образование окарины на воздухе	1000	1830	1000	1830
Возникновение сигма- и хи-фаз	700–975	1300–1800	700–975	1300–1800
Выделение карбидов и нитридов	450–800	840–1470	450–800	840–1470
Хрупкость при 475°C/885°F	350–525	650–980	350–525	650–980

На фиг. 6 приведена диаграмма выделения фаз в изотермических условиях, на которой показаны кривые превращения "время-температура" для первой дуплексной нержавеющей стали (сплав 2205, соответствующий UNS №№ S31803 и S32205), второй дуплексной нержавеющей стали (сплав 2304, соответствующий UNS №№ S32304) и супердуплексной нержавеющей стали (сплав 2507, соответствующий UNS №№ S32750 и S32760), отожженных при 1050°C (1920°F). На фиг. 6 показаны диапазоны температур и кинетика образования вредных фаз. Выделение карбидов и нитридов при конкретной температуре может начаться быстро, за 1-2 мин. Выделение сигма-фаз и хи-фаз происходит при более высоких температурах, но приблизительно за то же время, что и выделение карбидов и нитридов. Дуплексные и супердуплексные нержавеющие стали, в большей степени легированные хромом, молибденом и никелем, будут иметь более быструю кинетику образования сигма-фаз и хи-фаз, чем дуплексные нержавеющие стали, легированные в меньшей степени. Образование выделений альфа-штрих фаз при более низких температурах может привести к нежелательному упрочнению и охрупчиванию феррита в дуплексных и супердуплексных нержавеющих сталях.

Воздействия в течение нескольких минут в отмеченных выше диапазонах температур может привести к образованию фаз, неблагоприятно влияющих на коррозионную стойкость и вязкость разрушения. Предоставление заготовке возможности охлаждаться от температур отжига до диапазона температур 700-980°C (1300-1800°F) перед относительно быстрой закалкой (например, закалкой в воде) также может привести к образованию неблагоприятных фаз. Поэтому в различных вариантах воплощения можно выполнять закалку заготовок от температур отжига при скоростях охлаждения, достаточных для предотвращения образования неблагоприятных фаз, используя, например, операцию заковки в воде.

Полую цилиндрическую заготовку с закрытым швом (сваренную) подвергают ротационному выдавливанию, чтобы получить подвергнутую холодной обработке давлением (нагартрованную) бесшовную трубу из сплава. Ротационное выдавливание представляет собой операцию формования металла, используемую для создания точно цилиндрических деталей. Ротационное выдавливание, как правило, выполняют путем обжатия цилиндрической обрабатываемой детали по внешнему диаметру на внутренней, вращающейся оправке с использованием сочетания осевых, радиальных и тангенциальных сил со стороны двух или более роликов. Материал сжимают выше его предела текучести, вызывая пластическое деформирование этого материала. В результате уменьшаются внешний диаметр и толщина стенки обрабатываемой детали, в то время как ее длина увеличивается, до тех пор, пока не будет достигнута требуемая геометрия детали.

Ротационное выдавливание в общем случае представляет собой операцию холодного формования, выполняемую при температурах холодной обработки давлением. Хотя в результате пластического деформирования выделяется адиабатическое тепло, обрабатываемую деталь, оправку и ролики обычно орошают низкотемпературным охладителем для рассеивания тепла. Это гарантирует, что материал обрабатывается при температуре значительно ниже его температуры рекристаллизации. Будучи способом холодного формования ротационное выдавливание повышает прочность и твердость материала обрабатываемой детали, придает материалу текстуру и часто обеспечивает достижение механических свойств и размерной точности, которые значительно ближе к требованиям, чем достигаемые при любых способах изготовления с использованием теплого или горячего формования.

Двумя примерами операций ротационного выдавливания являются прямое ротационное выдавливание и обратное ротационное выдавливание. В общем, прямое ротационное выдавливание полезно при формовке труб или деталей, имеющих по меньшей мере один закрытый или полузакрытый конец (на-

пример, закрытого цилиндра). Обратное ротационное выдавливание в общем полезно при формовке труб или деталей, которые имеют два открытых конца (например, цилиндр с двумя открытыми концами). В некоторых случаях для успешного достижения требуемой геометрии можно применять сочетание прямого и обратного ротационного выдавливания. Как правило, прямое ротационное выдавливание и обратное ротационное выдавливание можно выполнять в одной и той же машине ротационного выдавливания за счет смены необходимой оснастки.

Фиг. 7 схематично иллюстрирует устройство 100 ротационного выдавливания. Устройство 100 ротационного выдавливания предназначено для прямого ротационного выдавливания. Устройство 100 ротационного выдавливания включает оправку 112 для удерживания цилиндрической обрабатываемой детали 118, заднюю бабку 114, которая закрепляет обрабатываемую деталь 118 на оправке 112, два или более ролика 116 для приложения силы к внешней поверхности обрабатываемой детали 118 и подвижную каретку 119, соединенную с роликами 116. Как показано на фиг. 7, ролики 116 могут быть расположены на одинаковом угловом расстоянии друг от друга относительно оси обрабатываемой детали 118. Ролики 116 могут иметь гидравлический привод и работать под числовым программным управлением (ЧПУ).

На фиг. 8 приведен схематичный вид сбоку в разрезе обрабатываемой детали 118, подвергаемой операции прямого ротационного выдавливания. Во время выполнения этой операции обрабатываемая деталь 118 может быть установлена на оправке 112 своим закрытым или полузакрытым концом к концу оправки 112 (с правой стороны оправки, как показано на фиг. 7). Обрабатываемая деталь 118 может быть закреплена на конце оправки 118 при помощи задней бабки 114, например, посредством гидравлической силы, действующей со стороны задней бабки 114. Тогда оправку 112 и обрабатываемую деталь 118 можно вращать вокруг оси 120, при этом ролики 116 перемещают в положение контакта с внешней поверхностью обрабатываемой детали 118 в требуемом месте по ее длине. Передняя бабка 134 вращается или приводит в движение оправку 112, а задняя бабка 114 обеспечивает дополнительную опору для вращения оправки 112, в результате чего длинная оправка 112 поворачивается должным образом.

Затем каретка 119 может перемещать ролики 116 вдоль обрабатываемой детали 118 (движение справа налево, как показано на фиг. 7), в общем в направлении, указанном ссылочным номером 124. Ролики 116 могут прикладывать одну или более сил к внешней поверхности обрабатываемой детали 118 для уменьшения толщины 126 ее стенки и ее внешнего диаметра, например, с использованием сочетания контролируемых радиальных, осевых и тангенциальных сил. Для разбрызгивания охладителя на ролики 116, обрабатываемую деталь 118 и оправку 112 могут быть использованы один или два распылителя 136, хотя можно использовать и большее число распылителей для рассеивания адиабатического тепла, возникающего, когда обрабатываемая деталь 118, первоначально имеющая, например, комнатную температуру, подвергается значительным величинам пластической деформации. Оправка 112 может даже быть погружена в охладитель (не показано), например, в устройстве с ванной, в результате чего охладитель накапливается и омывает оправку 112 для поддержания обрабатываемой детали 118 холодной.

Ролики 116 могут обжимать внешнюю поверхность обрабатываемой детали 118 с силой, достаточной для пластического деформирования материала и его перемещения или течения в указанном номером 122 направлении, в общем параллельном продольной оси 120. Ролики 116 могут быть позиционированы на любом требуемом расстоянии от внешнего диаметра оправки 112 или внутренней стенки обрабатываемой детали 118, чтобы получить толщину 126 стенки, которая может быть постоянной по длине обрабатываемой детали 118 или изменяющейся, как показано на фиг. 8 и 9. Длина 128 представляет ту часть обрабатываемой детали 118, которая подвергалась операции ротационного выдавливания, в то время как длина 130 - это та часть, которая еще должна быть деформирована. Операция, показанная на фиг. 8, называется "прямым ротационным выдавливанием", так как деформируемый материал течет в том же направлении 122, что и направление 124, в котором перемещаются ролики.

При обратном ротационном выдавливании устройство ротационного выдавливания может быть выполнено аналогичным образом с показанным на фиг. 7, но вместо задней бабки 114 обрабатываемую деталь 118 к оправке 112 прикрепляет приводное кольцо 132. Как показано на фиг. 7 и 9, приводное кольцо 132 находится рядом с передней бабкой 134 на несвободном конце оправки 112. На фиг. 9 приведен вид сбоку обрабатываемой детали 118, подвергающейся операции обратного ротационного выдавливания. Во время выполнения этой операции обрабатываемая деталь 118 может быть установлена на оправке 112, и к ней все время будет прикладываться толкающее усилие к приводному кольцу 132 на несвободном конце оправки 112 (влево, как показано на фиг. 9). Ролики 116 можно переместить в положение контакта с внешней поверхностью обрабатываемой детали 118 в любом требуемом месте по ее длине. Затем каретку 119 можно перемещать к приводному кольцу 132 (в направлении справа налево, как показано на фиг. 7) с приложением силы к обрабатываемой детали 118.

Сила, прикладываемая роликами 116, может толкать обрабатываемую деталь 118 к приводному кольцу 132, на котором она может фиксироваться или закрепляться при помощи группы зубцов или других крепежных средств, имеющихся на поверхности приводного кольца 132. Это позволяет оправке 112 и обрабатываемой детали 118 вращаться вокруг продольной оси 120, при этом ролики 116 могут прикладывать одну или более сил к внешней поверхности обрабатываемой детали 118. Материал обрабатываемой

мой детали пластически деформируется и перемещается или течет в направлении 122, в общем, параллельном оси 120. Аналогично прямому ротационному выдавливанию, ролики 116 могут быть позиционированы на любом требуемом расстоянии от внешнего диаметра оправки 112, или внутренней стенки обрабатываемой детали 118, чтобы получить толщину 126 стенки, которая может быть постоянной или изменяющейся по длине обрабатываемой детали 118. Длина 128 представляет ту часть обрабатываемой детали 118, которая подвергалась операции ротационного выдавливания, в то время как длина 130 - это та часть, которая еще должна быть деформирована. По мере деформирования обрабатываемой детали 118 она вытягивается по длине оправки 112 в направлении от приводного кольца 132. Эта операция называется "обратным ротационным выдавливанием", так как деформируемый материал течет в направлении 122, противоположном тому направлению 124, в котором перемещаются ролики.

В дополнение к ротационному выдавливанию деталей на гладкой оправке для придания неизменного внутреннего диаметра получаемой ротационным выдавливанием трубе, в отверстии этой получаемой ротационным выдавливанием трубы могут быть созданы шлицы, ребра или другая текстура. Это может быть осуществлено за счет использования оправки с текстурированием поверхности, например с ребрами, канавками, вырезами или другими формами, которые вдавливаются во внутреннюю поверхность обрабатываемой детали по мере ее ротационного выдавливания. Например, оправка может быть создана со спиральными, прямолинейными, периодическими или другими требуемыми выступами на ее поверхности. Эти выступы оставляют ребра, канавки, вырезы и/или другие формы на внутренней поверхности обрабатываемой детали после завершения последнего прохода ротационного выдавливания.

Когда материал обрабатываемой детали пластически деформируется и сжимается на оправке под действием набора вращающихся роликов, за один проход можно реализовать большое уменьшение толщины стенки. В случае цилиндрических заготовок из сплава, если в одном проходе ротационного выдавливания реализуется уменьшение толщины стенки менее 20%, может пластически деформироваться внешняя часть обрабатываемой детали, но расположенный наиболее близко к внутренней оправке материал не будет испытывать достаточной пластической деформации. Если в одном проходе ротационного выдавливания выполняется слишком большое уменьшение толщины стенки (например, более 75%), деталь может не быть обработана приемлемым образом, так как операция ротационного выдавливания может не позволить пластически деформировать и переместить весь материал за один раз. В некоторых вариантах воплощения степень уменьшения толщины стенки в первом проходе может быть больше, чем степень ее уменьшения во втором и последующих проходах, если это необходимо. В общем случае, когда при выполнении операции ротационного выдавливания толщина стенки уменьшается по меньшей мере на 20%, материал на всей толщине стенки пластически деформируется в достаточной степени для равномерного удлинения заготовки в полученную ротационным выдавливанием трубу. Используемый здесь термин "уменьшение толщины стенки" означает относительное уменьшение площади кольцеобразного поперечного сечения стенки заготовки во время операции ротационного выдавливания (т.е. относительное уменьшение площади).

Процесс ротационного выдавливания равномерно "измельчает" зерно деформируемого материала и перестраивает микроструктуру относительно однородным образом в продольном направлении, практически параллельном осевой линии получаемой ротационным выдавливанием трубы. Процесс ротационного выдавливания может проводиться за один или более проходов ротационного выдавливания. Когда используется два или более проходов, уменьшение толщины стенки, достигнутое в первом проходе, может быть больше, чем в последующих проходах, и может составлять по меньшей мере 25%-ное уменьшение толщины стенки. Например, в случае 35%-го общего уменьшения толщины стенки с использованием более чем одного прохода первый проход может обеспечивать по меньшей мере 25%-ное уменьшение толщины стенки, а второй проход может обеспечивать 10%-ное уменьшение толщины стенки. В другом примере в случае 50%-го общего уменьшения толщины стенки с использованием более чем одного прохода первый проход может обеспечивать по меньшей мере 25%-ное уменьшение толщины стенки, второй проход может обеспечивать 15%-ное уменьшение толщины стенки, а третий проход может обеспечивать 10%-ное уменьшение толщины стенки.

При той степени холодной обработки давлением, которая придается операцией ротационного выдавливания, увеличиваются твердость и прочность материала при растяжении, в то время как пластичность и значения ударной вязкости уменьшаются. Холодная обработка давлением посредством ротационного выдавливания также обычно уменьшает размер зерен в подвергнутом ротационному выдавливанию материале. В общем случае, когда материал обрабатывается давлением в холодном состоянии, по всей деформированной области возникают микроскопические дефекты. По мере накопления дефектов в ходе деформирования все больше затрудняется их скольжение или перемещение дефектов. Это приводит к повышению твердости материала. Если материал подвергается слишком значительной холодной обработке давлением, в материале с повышенной твердостью могут возникать трещины. Таким образом, с каждым проходом ротационного выдавливания деформированный материал становится тверже и менее пластичным, поэтому после первого прохода можно использовать последовательность все меньших и меньших редукций (обжатий).

В дополнение к увеличению прочности и твердости по двум осям подвергнутого ротационному вы-

давлению материала некоторые варианты воплощения также могут обеспечивать остаточные сжимающие напряжения в приповерхностном материале по внутреннему диаметру прошедшей ротационное выдавливание детали, порожденные процессом автофреттирования. Автофреттирование относится к методам обработки металла, используемым для трубчатых деталей с целью придания трубе увеличенных прочности и срока службы до усталостного разрушения путем создания остаточных сжимающих напряжений на отверстиях. В ходе типичного процесса автофреттирования в отверстиях трубы создается давление, приводящее к пластическому деформированию материала, находящегося в приповерхностной области у внутренней поверхности, в то время как материал, находящийся в приповерхностной области у внешней поверхности, подвергается упругому деформированию. В результате после снятия давления имеется распределение остаточных напряжений, что обеспечивает остаточные сжимающие напряжения на внутренней поверхности трубы.

В различных вариантах воплощения в последнем проходе ротационного выдавливания ролики могут быть выполнены с возможностью сжатия обрабатываемой детали по ее внешнему диаметру с использованием сочетания осевых и радиальных сил, заставляющего материал на внутреннем диаметре обрабатываемой детали прижиматься к оправке 112 с достаточной силой с тем, чтобы материал на внутреннем диаметре пластически деформировался, тем самым придавая сжимающее напряжение внутреннему диаметру наподобие автофреттирования. Это можно осуществить, например, путем раздвижения роликов на достаточное удаление друг от друга. Тогда операция ротационного выдавливания вызывает прижатие обрабатываемой детали к оправке и захват ею оправки, вместо простого снятия обрабатываемой детали с оправки или обратного пружинения от нее, что, как правило, происходит при выполнении стандартной операции ротационного выдавливания. Прижатие внутреннего диаметра к оправке таким образом создает сжимающее окружное напряжение по внутреннему диаметру полученной ротационным выдавливанием детали.

На фиг. 10 и 11 приведены соответственно схематичный вид в перспективе и схематичный вид сборки трехроликовой конфигурации ротационного выдавливания. На фиг. 10 показана каретка, в которой установлены три ролика 116 для ротационного выдавливания (показаны как X, Y и Z на фиг. 11), которые могут перемещаться вдоль трех осей (на фиг. 10 показаны как оси X, Y и Z) и которые находятся радиально вокруг оси шпинделя, отстоя друг от друга, например, на 120° . Хотя на чертежах показаны три ролика, при выполнении операции ротационного выдавливания может использоваться два или более роликов. Например, в тех вариантах воплощения, где могут оказаться необходимыми большие деформационные усилия, может использоваться четырехроликовая конфигурация, и нагрузка может быть распределена по большему числу роликов. Независимо программируемые X-, Y- и Z-ролики обеспечивают необходимые радиальные силы, в то время как программируемое движение подачи справа налево по оси W прикладывает осевую силу. Каждый из роликов может иметь специальную геометрию, чтобы обеспечить выполнение им конкретной функции в операции ротационного выдавливания.

Ролики 116 могут быть расположены "ступенчато" в продольном и/или радиальном направлении друг относительно друга.

Величина "ступеньки" может меняться и может определяться на основе первоначальной толщины стенки обрабатываемой детали и степени уменьшения стенки, требуемой в данном проходе ротационного выдавливания. Например, как показано на фиг. 11, S_0 обозначает толщину стенки обрабатываемой детали до прохода ротационного выдавливания, а S_1 обозначает толщину стенки обрабатываемой детали после операции ротационного выдавливания роликами 116, перемещающимися в направлении v. Ролики 116 могут быть расположены "ступенчато" в продольном направлении обрабатываемой детали 118 (показано как ось W на фиг. 10) и могут быть расположены "ступенчато" в радиальном направлении относительно осевой линии или внутреннего диаметра обрабатываемой детали (вдоль осей X, Y и Z), чтобы прикладывать относительно одинаковое сжимающее усилие к внешней стороне обрабатываемой детали 118. Например, как показано на фиг. 11, ролик X может отстоять от ролика Y на смещение или расстояние A_1 , и ролик X может отстоять от ролика Z на смещение или расстояние A_2 , если смотреть в продольном направлении обрабатываемой детали 118. Аналогичным образом, ролик X может быть радиально смещен от внутреннего диаметра обрабатываемой детали 118 на расстояние S_1 , которое представляет собой требуемую толщину стенки обрабатываемой детали 118 после прохода ротационного выдавливания, ролик Y может быть радиально смещен на расстояние R_1 , а ролик Z может быть радиально смещен на расстояние R_2 от внутреннего диаметра обрабатываемой детали. Как показано, как только схема осевой "ступенчатости" установлена, для определения степени радиальной "ступенчатости" может быть использован угол K.

Чем дальше ролики X, Y, Z отстоят друг от друга, тем больше спиральное закручивание, придаваемое зеренной структуре материала обрабатываемой детали. Придаваемые детали, таким образом сжимающие окружные напряжения (автофреттирование), могут снизить вероятность возникновения трещин и уменьшить скорость роста любой трещины, которая может возникнуть по внутреннему диаметру детали, фактически увеличивая срок службы полученной ротационным выдавливанием трубы до усталостного разрушения.

Другой выгодой ротационного выдавливания является то, что величина придаваемых по внутрен-

нему диаметру сжимающих напряжений может меняться по длине трубы в зависимости от конфигурации роликов. Например, ролики могут иметь такую конфигурацию, что сжимающие напряжения придаются только одной части трубы, например на одном конце или в середине трубы.

При операции ротационного выдавливания между внутренним диаметром обрабатываемой детали и оправкой может быть использована смазка, чтобы уменьшить вероятность приставания обрабатываемой детали к оправке или зажимания на ней.

Полую цилиндрическую заготовку с закрытым швом (сваренную) подвергают ротационному выдавливанию, чтобы уменьшить внешний диаметр, увеличить длину и удалить сварной шов, что позволяет получить подвергнутую холодной обработке давлением (нагартованную) бесшовную трубу из сплава. Фиг. 12 схематично иллюстрирует обратное ротационное выдавливание полый цилиндрической заготовки 210 с закрытым швом (сваренной), содержащей сварной шов 218. Заготовку 210 устанавливают на оправке (не показана) и прикрепляют к приводному кольцу (не показано). Приводное кольцо вращает заготовку 210 в направлении вращения, указанном поворотной стрелкой 222. Ролики 216 устройства ротационного выдавливания вращаются и перемещаются в продольном направлении, как указано стрелками 224, взаимодействуя с заготовкой 210 и пластически деформируя ее (хотя показаны два ролика 216, может иметься третий ролик, который на этом виде заслонен получаемой ротационным выдавливанием трубой 290). Пластически деформированный материал сплава заготовки 210 выходит с противоположной стороны роликов в виде получаемой ротационным выдавливанием трубы 290 и течет в продольном направлении, указанном прямолинейной стрелкой 222. Там, где ролики 216 аксиально взаимодействуют с обрабатываемой деталью в продольном направлении, возникает переходная область 250 между заготовкой 210 и трубой 290. Как показано на фиг. 12, полученная ротационным выдавливанием труба 290, изготовленная из полый цилиндрической заготовки 210 с закрытым швом (сваренной), не имеет видимого сварного шва и поэтому является сварной и бесшовной трубой.

Фиг. 13 схематично иллюстрирует обратное ротационное выдавливание полый цилиндрической заготовки 310 с закрытым швом (сваренной), содержащей сварной шов 318. Заготовку 310 устанавливают на оправке 312 и прикрепляют к приводному кольцу (не показано). Приводное кольцо вращает заготовку 310 в направлении вращения, указанном поворотной стрелкой 322. Ролики 316 устройства ротационного выдавливания вращаются и перемещаются в продольном направлении (от наблюдателя), взаимодействуя с заготовкой 310 и пластически деформируя ее. На фиг. 13 показана четырехроликовая конфигурация. Как отмечено выше, четырехроликовая конфигурация может использоваться в тех вариантах воплощения, где могут оказаться необходимыми большие деформационные усилия, и нагрузка может быть распределена по большему числу роликов.

Пластически деформированный материал сплава заготовки 310 выходит с противоположной стороны роликов в виде получаемой ротационным выдавливанием трубы 390 и течет в продольном направлении (к наблюдателю). Там, где ролики 316 аксиально взаимодействуют с обрабатываемой деталью в продольном направлении, возникает переходная область 350 между заготовкой 310 и трубой 390. Как показано на фиг. 13, полученная ротационным выдавливанием труба 390, изготовленная из полый цилиндрической заготовки 310 с закрытым швом (сваренной), не имеет видимого сварного шва и поэтому является сварной и бесшовной трубой.

При ротационном выдавливании полых цилиндрических заготовок с закрытым швом (сваренных), включая расширенные и/или отоженные заготовки, но не обязательно ограничиваясь ими, можно изготавливать бесшовные трубы в подвергнутом холодной обработке давлением (нагартованном) состоянии. Для примера, операции ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы могут выполняться при комнатной температуре и/или с охлажденным охладителем, чтобы гарантировать, что деформирование происходит при температуре холодной обработки давлением. При выполнении операций ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы может выполняться холодная обработка материала сплава давлением с относительным уменьшением площади в диапазоне от 20 до 80% включительно, либо в любом входящем в него поддиапазоне, например от 25 до 75%, от 50 до 75%, от 50 до 70%, от 25 до 65%, от 30 до 65%, от 30 до 60%, от более 30 до менее 60%, от 35 до 55% или от 40 до 50%. Операции ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы могут выполняться за один проход или множество проходов.

Ротационное выдавливание заготовок для изготовления труб дает возможность контролировать точный уровень нагартовки (количественно определенный как относительное уменьшение площади), необходимый для получения заранее заданных целевых свойств материала в трубах. Для примера, ротационное выдавливание позволяет точно контролировать относительное уменьшение площади (например, в диапазоне от 30 до 60% в зависимости от конкретного сплава), требуемое для достижения заранее заданного баланса при комнатной температуре предела текучести, предела прочности при растяжении, относительного удлинения и твердости у труб в подвергнутом холодной обработке давлением (нагартованном) состоянии. Это дает возможность эффективным и действенным образом изготавливать трубы, которые соответствуют требованиям, предъявляемым к химическому составу, размерам, механическим свойствам и микроструктуре спецификацией ANSI/API Specification 5CRA.

При выполнении операций ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы

можно получить трубы в подвергнутом холодной обработке давлением (нагартованном) состоянии, обладающие свойствами при комнатной температуре, включающими предел текучести по меньшей мере 110 кфунт/кв.дюйм (758 МПа), предел прочности при растяжении по меньшей мере 125 кфунт/кв.дюйм (862 МПа), относительное удлинение по меньшей мере 9% и/или твердость HRC не более 38. Используемый здесь термин "предел текучести" относится к условному пределу текучести при остаточной деформации 0,2%. Трубы, изготовленные изложенными в этом описании способами, могут характеризоваться пределом текучести по меньшей мере 110 кфунт/кв.дюйм (758 МПа) и не более 160 кфунт/кв.дюйм (1103 МПа). Трубы, изготовленные изложенными в этом описании способами, могут иметь значения предела прочности при растяжении, которые по меньшей мере на 10 кфунт/кв.дюйм (70 МПа) больше предела текучести этих труб. Трубы, изготовленные изложенными в этом описании способами, могут иметь предел текучести по меньшей мере 125 кфунт/кв.дюйм (862 МПа), предел прочности при растяжении по меньшей мере 130 кфунт/кв.дюйм (896 МПа), относительное удлинение по меньшей мере 10% и/или твердость HRC не более 37. Трубы, изготовленные изложенными в этом описании способами, могут иметь предел текучести по меньшей мере 140 кфунт/кв.дюйм (965 МПа) и/или предел прочности при растяжении по меньшей мере 145 кфунт/кв.дюйм (1000 МПа). Трубы, изготовленные изложенными в этом описании способами, могут иметь относительное удлинение по меньшей мере 12% и/или твердость HRC не более 36.

При операциях ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы можно получить трубы, имеющие внешний диаметр по меньшей мере 1,0 дюйма (25,4 мм) и толщину стенки по меньшей мере 0,015 дюйма (0,381 мм). При операциях ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы можно получить трубы, имеющие внешний диаметр по меньшей мере 1,5 дюйма (81,1 мм) и толщину стенки по меньшей мере 0,020 дюйма (0,508 мм). При операциях ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы можно получить трубы, имеющие внешний диаметр по меньшей мере 2,0 дюйма (50,8 мм) и толщину стенки по меньшей мере 0,025 дюйма (0,635 мм).

При операциях ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы можно получить трубы, имеющие внешний диаметр по меньшей мере 6,5 дюйма (165,1 мм), толщину стенки по меньшей мере 0,231 дюйма (5,87 мм) и/или длину по меньшей мере 28,0 фута (8,5 м). При операциях ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы можно получить трубы, имеющие внешний диаметр по меньшей мере 7,0 дюйма (177,8 мм), толщину стенки по меньшей мере 0,231 дюйма (5,87 мм) и/или длину по меньшей мере 34,0 фута (10,4 м). При операциях ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы можно получить трубы, имеющие внешний диаметр по меньшей мере 9,625 дюйма (244,5 мм), толщину стенки по меньшей мере 0,312 дюйма (7,92 мм) и/или длину по меньшей мере 36,0 фута (11,0 м). При операциях ротационного выдавливания для деформирования заготовок в трубы можно получить трубы, имеющие внешний диаметр по меньшей мере 9,875 дюйма (250,8 мм), толщину стенки по меньшей мере 0,625 дюйма (15,9 мм) и/или длину по меньшей мере 3 6,0 фута (11,0 м).

После операции ротационного выдавливания трубы можно необязательно подвергнуть отжигу. Подходящая температура отжига может быть выбрана на основе характера материала сплава полученной ротационным выдавливанием трубы. Например, трубы из дуплексных нержавеющей сталей можно отжигать при температуре в диапазоне от 875° до 1200°C (1607-2192°F), либо в любом входящем в него поддиапазоне, например от 1010 до 1177°C (1850-2150°F), от 982 до 1149°C (1800-2100°F), от 950 до 1150°C (1742-2102°F) или от 1000 до 1100°C (1832-2012°F). Трубы из супердуплексных и гипердуплексных нержавеющей сталей, например, можно отжигать при температуре в диапазоне от 950 до 1200°C (1742-2192°F) либо в любом входящем в него поддиапазоне, например от 1010 до 1177°C (1850-2150°F), от 982 до 1149°C (1800-2100°F), от 1050 до 1150°C (1922-2102°F) или от 1075 до 1100°C (1967-2012°F). В общем, в случае дуплексных, супердуплексных и гипердуплексных нержавеющей сталей отжиг при подходящих более высоких температурах склонен к увеличению содержания феррита по сравнению с отжигом при подходящих более низких температурах.

Обработки отжигом можно выполнять при температурах выше температуры рекристаллизации сплава полученной ротационным выдавливанием трубы. При обработке отжигом может происходить рекристаллизация обработанной в холодном состоянии микроструктуры полученной ротационным выдавливанием трубы. Обработки отжигом можно выполнять путем нагрева трубы до температуры ее поверхности, находящейся в диапазоне температур отжига, и последующей выдержки трубы с соблюдением заранее заданного режима "время при температуре" перед охлаждением трубы (например, в результате удаления заготовки из печи для отжига). Например, трубу можно нагреть до указанной температуры поверхности, находящейся в диапазоне температур отжига, и затем выдерживать при этой температуре в течение по меньшей мере 5 мин, по меньшей мере 10 мин, по меньшей мере 15 мин, по меньшей мере 20 мин, по меньшей мере 25 мин или по меньшей мере 30 мин ("время при температуре"). В качестве альтернативы обработки отжигом можно выполнять путем помещения трубы в работающую при заданной температуре печь для отжига (или другую среду с контролируемой температурой) и затем выдержки в печи в течение заранее заданного времени пребывания в печи перед охлаждением трубы (например, в результате удаления трубы из печи для отжига). Например, трубу можно поместить в печь для отжига,

работающую при указанной температуре в диапазоне температур отжига, и затем выдерживать в такой печи в течение по меньшей мере 5 мин, по меньшей мере 10 мин, по меньшей мере 15 мин, по меньшей мере 20 мин, по меньшей мере 25 мин или по меньшей мере 30 мин ("время пребывания в печи"). Трубу можно выдерживать при заданной температуре или в работающей печи в течение периода времени, который не превышает, например, 60, 45, 30 или 15 мин (как вариант, это может быть "время при температуре" или "время пребывания в печи").

В вариантах воплощения, содержащих необязательную операцию отжига, отожженная труба может быть подвергнута закалке от температур отжига по истечении указанного времени при температуре или времени пребывания в печи. Например, трубу можно подвергнуть закалке от температуры отжига спустя не более чем 30 мин, не более чем 25 мин, не более чем 20 мин или не более чем 15 мин (как вариант, это может быть "время при температуре" или "время пребывания в печи"). Закалку можно выполнять со скоростью охлаждения, которая предотвращает выделение вредных фаз во время охлаждения. Такие скорости охлаждения могут быть достигнуты, например, с использованием операции закалки в воде.

Изложенные в этом описании способы можно использовать для получения выполненных из сплава бесшовных труб из плит из сплава, например, содержащих CRA-сплавы, включая, но не ограничиваясь ими, мартенситные нержавеющие стали, мартенситно-ферритные нержавеющие стали, аустенитные нержавеющие стали, дуплексные (аустенитно-ферритные) нержавеющие стали, супердуплексные (аустенитно-ферритные) нержавеющие стали, гипердуплексные (аустенитно-ферритные) нержавеющие стали, аустенитные сплавы на основе никеля, аустенитные суперсплавы на основе никеля и сплавы на основе титана.

Например, для изготовления трубы из нержавеющей стали в соответствии с изложенными в этом описании способами можно использовать плиту из нержавеющей стали, содержащую дуплексную, супердуплексную или гипердуплексную нержавеющую сталь. Дуплексные нержавеющие стали имеют смешанную микроструктуру из аустенита и феррита. Дуплексную, супердуплексную и гипердуплексную сталь обычно различают, исходя из числового эквивалента стойкости к питтинговой коррозии ($PREN = \%Cr + 3,3 \times (\%Mo + 0,5 \times \%W) + 16 \times \%N$), где дуплексные нержавеющие стали имеют PREN, составляющий по меньшей мере 35, супердуплексные нержавеющие стали имеют PREN, составляющий по меньшей мере 40, а гипердуплексные нержавеющие стали имеют PREN, составляющий по меньшей мере 45. Примеры дуплексных, супердуплексных и гипердуплексных нержавеющих сталей, которые подходят для изготовления труб в соответствии с изложенными в этом описании способами, включают, не ограничиваясь ими, нержавеющие стали, перечисленные соответственно в табл. 2-4 (составы указаны в массовых процентах в расчете на общую массу сплава).

Таблица 2

Дуплексные нержавеющие стали

UNS №	Cr	Ni	Mo	N	Mn	C	Cu	W	Fe
S32304	21,5-24,5	3,0-5,5	0,05-0,60	0,05-0,20	≤ 2,50	≤ 0,03	0,05-0,60	-	ост.
S32003	19,5-22,5	3,0-4,0	1,5-2,0	0,14-0,20	≤ 2,00	≤ 0,03	-	-	ост.
S31803	21,0-23,0	4,5-6,5	2,5-3,5	0,08-0,20	≤ 2,00	≤ 0,03	-	-	ост.
S32205	22,0-23,0	4,5-6,5	3,0-3,5	0,14-0,20	≤ 2,00	≤ 0,03	-	-	ост.
S32550	24,0-27,0	4,5-6,5	2,9-3,9	0,10-0,25	≤ 1,50	≤ 0,04	1,5-2,5	-	ост.

Таблица 3

Супердуплексные нержавеющие стали

UNS №	Cr	Ni	Mo	N	Mn	C	Cu	W	Fe
S32750	24,0-	6,0-	3,0-	0,24-	≤ 1,20	≤ 0,04	≤ 0,5	-	ост.

	26,0	8,0	5,0	0,32					
S32760	24,0– 26,0	6,0– 8,0	3,0– 4,0	0,20– 0,30	$\leq 1,00$	$\leq 0,04$	0,5– 1,0	0,5– 1,0	ост.
S32808	27,0– 27,9	7,0– 8,2	0,8– 1,2	0,30– 0,40	$\leq 1,10$	$\leq 0,03$	–	2,1– 2,5	ост.
S32906	28,0– 30,0	5,8– 7,5	1,5– 2,6	0,30– 0,40	0,80– 1,5	$\leq 0,03$	$\leq 0,8$	–	ост.
S32950	26,0– 29,0	3,5– 5,2	1,0– 2,5	0,15– 0,35	$\leq 2,00$	$\leq 0,03$	–	–	ост.
S39274	24,0– 26,0	6,8– 8,0	2,5– 3,5	0,24– 0,32	$\leq 1,0$	$\leq 0,03$	0,2– 0,8	1,5– 2,5	ост.
S39277	24,0– 26,0	6,5– 8,0	3,0– 4,0	0,23– 0,33	$\leq 0,80$	$\leq 0,025$	1,2– 2,0	0,8– 1,2	ост.

Таблица 4

Гипердуплексные нержавеющие стали

UNS №	Cr	Ni	Mo	N	Mn	C	Cu	Fe
S32707	26,0– 29,0	5,5– 9,5	4,0– 5,0	0,30– 0,50	$\leq 1,5$	$\leq 0,03$	$\leq 1,0$	ост.
S33207	29,0– 33,0	6,0– 9,0	3,0– 5,0	0,40– 0,60	$\leq 1,5$	$\leq 0,03$	$\leq 1,0$	ост.

Нержавеющие стали, перечисленные в приведенных выше табл. 2–4, могут содержать эти входящие в состав элементы, состоять, по существу, из этих входящих в состав элементов или состоять из этих входящих в состав элементов и случайных примесей.

Например, изложенные в этом описании способы позволяют изготавливать трубу из нержавеющей стали, в состав которой входит супердуплексная нержавеющая сталь, содержащая (в массовых процентах)

24,0–26,0% хрома;
6,0–8,0% никеля;
3,0–5,0% молибдена;
0,20–0,32% азота;
до 0,04% углерода;
необязательно, 0,5–1,0% меди;
необязательно, 0,5–1,0% вольфрама;
железо и случайные примеси.

В различных вариантах воплощения изложенные в этом описании способы позволяют изготавливать трубу из дуплексной нержавеющей стали, имеющую объемную долю феррита в диапазоне от 40 до 60%. В различных вариантах воплощения изложенные в этом описании способы позволяют изготавливать трубу из супердуплексной нержавеющей стали, имеющую объемную долю феррита в диапазоне от 35 до 55%.

Другие примеры CRA-сплавов, которые могут подойти для изготовления труб в соответствии с изложенными в этом описании способами, включают, не ограничиваясь ими, дуплексную нержавеющую сталь - сплав 2205 (UNS S31803), супердуплексную нержавеющую сталь - сплав 2507 (UNS S32750, S32760, S39274), аустенитную нержавеющую сталь Ni-Cr-Fe - сплав 028 (UNS N08028), сплав Ni-Fe-Cr - сплав 825 (UNS N08825), сплав Ni-Fe-Cr - сплав G-3 (UNS N06985), сплав на основе никеля - сплав 050 (UNS N06950), сплав на основе никеля - сплав C-276 (UNS N10276), сплав на основе никеля - сплав 600 (UNS N06600), сплав на основе никеля - сплав 617 (UNS N06617), сплав на основе никеля - сплав 625 (UNS N06625), сплав на основе никеля - сплав 690 (UNS N06690), сплав на основе никеля - сплав 718 (UNS N07718), сплав Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al (UNS R58153), сплав Ti-4Al-2,5V-1,5Fe-0,250 (UNS R54250), сплав Ti-3Al-2,5V (UNS R56320), сплав Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr (UNS R58640), сплав Ti-4,5Al-3V-2Mo-2Fe (SP-700; UNS нет) и технически чистый титан (UNS R50250, R50400, R50550, R50700; сорта 1–4 по ASTM).

Химический состав определенных сплавов на основе никеля и сплавов на основе титана, которые подходят для изготовления труб в соответствии с изложенными в этом описании способами, указан в приведенных ниже табл. 5 и 6 (составы указаны в массовых процентах в расчете на общую массу сплава и могут содержать эти входящие в состав элементы, состоять, по существу, из этих входящих в состав

элементов или состоять из этих входящих в состав элементов и случайных примесей).

Таблица 5

Элемент	UNS №				
	N06600	N06617	N06625	N06690	N07718
Cr	14,0-17,0	20,0-24,0	20,0-23,0	27,0-31,0	17,00-21,00
Co	–	10,0-15,0	≤ 1,0	–	≤ 1,00
Mo	–	8,0-10,0	8,0-10,0	–	2,80-3,30
Al	–	0,8-1,5	≤ 0,40	–	0,20-0,80
Fe	6,00-10,00	≤ 3,0	≤ 5,0	7,0-11,0	остальное
C	≤ 0,15	0,05-0,15	≤ 0,10	≤ 0,05	≤ 0,08
Mn	≤ 1,00	≤ 1,0	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,35
S	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015
Si	≤ 0,50	≤ 1,0	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,35
Cu	≤ 0,50	≤ 0,5	–	≤ 0,50	≤ 0,30
Ti	–	≤ 0,6	≤ 0,40	–	0,65-1,15
B	–	≤ 0,006	–	–	≤ 0,006
Nb+Ta	–	–	3,15-4,15	–	4,75-5,50
P	–	–	≤ 0,015	–	≤ 0,015
Ni	Остальное (≥ 72,0)	Остальное (≥ 44,5)	Остальное (≥ 58,0)	Остальное (≥ 58,0)	50,00-55,00

Таблица 6

Элемент	UNS №				
	R58153	R54250	R56320	R58640	Нет (SP-700)
Al	2,5-3,5	3,5-4,5	2,5-3,5	3,0-4,0	4,0-5,0
V	14,0-16,0	2,0-3,0	2,0-3,0	7,5-8,5	2,5-3,5
Fe	≤ 0,25	1,2-1,8	≤ 0,20	≤ 0,30	1,7-2,3
O	≤ 0,13	0,20-0,30	≤ 0,15	≤ 0,12	≤ 0,15
Cr	2,5-3,5	–	–	5,5-6,5	–
Sn	2,5-3,5	–	–	–	–
Mo	–	–	–	3,5-4,5	1,8-2,2
Zr	–	–	–	3,5-4,5	–
C	≤ 0,05	≤ 0,08	≤ 0,050	≤ 0,05	≤ 0,08
N	≤ 0,05	≤ 0,03	≤ 0,030	≤ 0,03	≤ 0,05
H	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,030	≤ 0,01
Ti	остальное	остальное	остальное	остальное	остальное

Изложенными в этом описании способами можно изготавливать трубы, которые соответствуют спецификации ANSI/API Specification 5CRA, первое издание, февраль 2010. Изложенные в этом описании способы обеспечивают точный контроль химического состава, размеров, механических свойств и микроструктуры изготавливаемых труб. Спецификация ANSI/API Specification 5CRA устанавливает требования по этим свойствам, кроме прочих, к изделиям OCTG. Соответственно, изложенные в этом опи-

сании способы полезны при изготовлении соответствующих стандарту изделий OCTG.

Спецификация ANSI/API Specification 5CRA устанавливает стандартные диапазоны длины для изделий OCTG: диапазон 1 (16,0-25,0 фута; 4,88-7,62 м); диапазон 2 (25,0-34,0 фута; 7,62-10,36 м) и диапазон 3 (34,0-48,0 фута; 10,36-14,63 м). Спецификация ANSI/API Specification 5CRA также устанавливает стандартные внешние диаметры (OD) и толщину стенок (WT) для изделий OCTG в диапазонах 1,050-13,375 дюйма (26,67-339,72 мм) OD и 0,113-0,797 дюйма (2,87-20,24 мм) WT. Известные способы изготовления труб не позволяют экономически выгодным образом в промышленном масштабе изготавливать трубы, которые находятся у верхних границ этих диапазонов размеров, а также соответствуют требованиям к механическим свойствам, заданным спецификацией ANSI/API Specification 5CRA (например, минимальным пределам текучести и пределам прочности при растяжении, минимальным относительным удлинениям и максимальным уровням твердости). Изложенные в этом описании способы могут позволить эффективным образом изготавливать бесшовные трубы из CRA-сплавов большей длины (например, диапазона 3), с большим внешним диаметром (например, больше 7 дюймов/177,8 мм) и с большей толщиной стенки (например, больше 0,5 дюйма/12,7 мм) в подвергнутом холодной обработке давлением (нагартованном) состоянии, которые могут удовлетворять требованиям к механическим свойствам, заданным спецификацией ANSI/API Specification 5CRA.

Хотя различные варианты воплощения изложенных в этом описании способов рассмотрены применительно к изделиям OCTG, необходимо понимать, что способы изготовления и изготовленные трубы не ограничиваются применениями в нефтегазовой промышленности. Например, трубы, изготовленные изложенными в этом описании способами, могут быть пригодны для любой области применения, в которой важны высокие прочность, вязкость разрушения и коррозионная/эрозионная стойкость, такой как, например, химическая промышленность, нефтехимическая промышленность, электроэнергетика, горнодобывающая промышленность, обработка отходов и аэрокосмическая/авиационная промышленность.

Примеры

Пример 1.

Плиту из сплава 625 (UNS N06625; 20,0-23,0% хрома, 8,0-10,0% молибдена, 3,15-4,15% ниобия и/или тантала, до 5,0% железа, до 1,0% кобальта, до 0,50% марганца, до 0,5% кремния, до 0,4% титана, до 0,4% алюминия, до 0,10% углерода, остальное - никель и случайные примеси (в массовых процентах)) подвергали механической обработке для повышения ее плоскостности. Прошедшая механическую обработку плита имела размеры приблизительно 8 дюймов (203,2 мм) в ширину и 0,750 дюйма (19,05 мм) в толщину. Плиту изогнули путем гибки на валках с получением цилиндрической полой заготовки, имеющей продольную область шва, находящуюся между двумя примыкающими концами деформированной плиты. Изогнутую путем гибки на валках плиту сварили лазерной сваркой в атмосфере газообразного азота, соединив друг с другом примыкающие концы. Из продольной области шва после лазерной сварки удалили валик сварного шва.

Заготовку с закрытым швом (сваренную) подвергали обратному ротационному выдавливанию при окружающей температуре с относительным уменьшением площади приблизительно 50%. В результате выполнения способа была изготовлена труба из сплава 625 с внешним диаметром 8,625 дюйма (219,8 мм) и толщиной стенки 0,375 дюйма (9,53 мм). На фиг. 14А показаны полученная ротационным выдавливанием труба из сплава 625 (справа) и прокатанная и сваренная заготовка из сплава 625 (слева), аналогичная той заготовке, из которой ротационным выдавливанием получена эта труба. Как показано на фиг. 14А, в заготовке четко виден шов от лазерной сварки, но в полученной ротационным выдавливанием трубе он не виден. На фиг. 14В показан остающийся шов от лазерной сварки на ведомом конце полученной ротационным выдавливанием трубы, который соприкасался с приводным кольцом в устройстве ротационного выдавливания.

Пример 2.

Плиты из сплава Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al (UNS R58153; 14,0-16,0% ванадия; 2,5-3,5% хрома, 2,5-3,5% олова, 2,5-3,5% алюминия, остальное - титан и случайные примеси (в массовых процентах)) изогнули путем гибки на валках с получением цилиндрических полых заготовок, имеющих продольные области шва, находящиеся между двумя примыкающими концами деформированных плит. Плиты имели размеры приблизительно 22-23 дюйма (559-584 мм) в длину, 17 дюймов (432 мм) в ширину и 0,050 дюйма (1,27 мм) в толщину. Изогнутые путем гибки на валках плиты сварили лазерной сваркой в атмосфере газообразного азота, соединив друг с другом примыкающие концы. Из продольных областей шва после лазерной сварки удалили валик сварного шва. Заготовки с закрытым швом (сваренные) имели внутренний диаметр приблизительно 5,418 дюйма (138 мм), толщину стенки приблизительно 0,050 дюйма (1,27 мм) и длину приблизительно 22-23 дюйма (559-584 мм). Эти заготовки с закрытым швом (сваренные) показаны на фиг. 15.

Заготовки с закрытым швом (сваренные) разрезали приблизительно пополам на два отрезка, и каждый отрезок подвергали обратному ротационному выдавливанию при окружающей температуре. Получаемые ротационным выдавливанием образцы подвергали холодной обработке давлением с относительными уменьшениями площади, составляемыми приблизительно 51, 53, 57, 61 и 67%, и изготовленные трубы из сплава Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al имели толщину стенки приблизительно 0,017 дюйма (0,43 мм),

0,020 дюйма (0,51 мм), 0,022 дюйма (0,56 мм), 0,024 дюйма (0,61 мм) и 0,025 дюйма (0,64 мм).

На фиг. 16 показан один из образцов из сплава Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al в состоянии частичного прохождения ротационного выдавливания (сравните со схематичной иллюстрацией на фиг. 12). Образец, частично прошедший ротационное выдавливание, включает участок заготовки с закрытым швом (сваренной), подвергнутый ротационному выдавливанию участок бесшовной трубы и переходную область между участком заготовки и участком трубы. На участке заготовки виден сварной шов, но он исчезает в переходной области и отсутствует на участке бесшовной трубы.

Пример 3.

Плиты из супердуплексной нержавеющей стали (UNS S32760; 24,0-26,0% хрома, 6,0-8,0% никеля, 3,0-4,0% молибдена, 0,20-0,30% азота, до 1,0% марганца, до 0,04% углерода, 0,5-1,0% меди, 0,5-1,0% вольфрама, а остальное - железо и случайные примеси (в массовых процентах)) изогнули путем гибки на валках с получением цилиндрических полых заготовок, имеющих продольные области шва, находящиеся между двумя примыкающими концами деформированных плит. Плиты имели толщину приблизительно 1,20 дюйма (30,5 мм). Изогнутые путем гибки на валках плиты сварили лазерной сваркой в атмосфере газообразного азота, соединив друг с другом примыкающие концы. Из продольных областей шва после лазерной сварки удалили валик сварного шва. Заготовки с закрытым швом (сваренные) имели толщину стенки приблизительно 1,20 дюйма (30,5 мм). Эти заготовки с закрытым швом (сваренные) показаны на фиг. 17.

Заготовки с закрытым швом (сваренные) подвергали обратному ротационному выдавливанию при окружающей температуре. Получаемые ротационным выдавливанием образцы подвергали холодной обработке давлением с относительным уменьшением площади, составляющим приблизительно 75%, и изготовленные трубы из супердуплексной нержавеющей стали имели толщину стенки приблизительно 0,30 дюйма (7,6 мм).

Пример 4.

Взяли плиту из сплава CRA со следующими размерами: длина 18,0 футов (5,5 м), ширина 9,125 дюйма (231,8 мм) и толщина 1,2 дюйма (30,5 мм). Основные верхнюю и нижнюю поверхности плиты шлифовали или подвергали механической обработке, чтобы гарантировать, что плита имеет плоскостность по меньшей мере $\pm 0,020$ дюйма ($\pm 0,508$ мм). Противоположные продольные концы (18,0 футов (5,5 м)) подвергали механической обработке, чтобы гарантировать, что они параллельны, и, если это необходимо, обеспечить нужную кромку под сварку.

Плиту изгибали на валках в полу цилиндрическую заготовку с открытым швом, имеющую продольную область шва, находящуюся между двумя примыкающими продольными концами деформированной плиты. Полу цилиндрическую заготовку с открытым швом сварили, чтобы соединить друг с другом примыкающие концы и закрыть шов. Сваренная полу цилиндрическая заготовка имела следующие размеры: длину 18,0 фута (5,5 м), внутренний диаметр 9,25 дюйма (235,0 мм) и внешний диаметр 10,375 дюйма (263,5 мм).

Сваренную полу цилиндрическую заготовку подвергали обратному ротационному выдавливанию при комнатной температуре, уменьшив внешний диаметр до 9,875 дюйма (250,8 мм) и увеличив длину до 36 футов (11,0 м) (примерно 50%-ное относительное уменьшение площади). Полученная в результате труба из CRA-сплава имеет следующие размеры: длину 36 футов (11,0 м), внешний диаметр 9,875 дюйма (250,8 мм) и толщину стенки 0,625 дюйма (15,9 мм).

Труба из CRA-сплава имеет предел текучести по меньшей мере 110 кфунт/кв.дюйм (758 МПа) и не более 160 кфунт/кв.дюйм (1103 МПа), предел прочности при растяжении по меньшей мере 125 кфунт/кв.дюйм (862 МПа), относительное удлинение по меньшей мере 9% и твердость HRC не более 38. Труба из CRA-сплава соответствует спецификации ANSI/API Specification 5CRA, первое издание, февраль 2010.

Пример 5.

Взяли плиту из супердуплексной нержавеющей стали сплава 2507 (UNS S32750; номинальный состав 25,0% хрома, 7,0% никеля, 3,8% молибдена, 0,27% азота, остальное - железо и случайные примеси) со следующими размерами: длина 18,0 фута (5,5 м), ширина 9,125 дюйма (231,8 мм) и толщина 1,2 дюйма (30,5 мм). Основные верхнюю и нижнюю поверхности шлифовали или подвергали механической обработке, чтобы гарантировать, что плита имеет плоскостность по меньшей мере $\pm 0,020$ дюйма ($\pm 0,508$ мм). Противоположные продольные концы (18,0 фута (5,5 м)) подвергали механической обработке, чтобы гарантировать, что они параллельны, и, если это необходимо, обеспечить нужную кромку под сварку.

Плиту изгибали на валках в полу цилиндрическую заготовку с открытым швом, имеющую продольную область шва, находящуюся между двумя примыкающими продольными концами деформированной плиты. Полу цилиндрическую заготовку с открытым швом сваривали лазерной сваркой, чтобы соединить друг с другом примыкающие концы и закрыть шов. Лазерную сварку выполняли в атмосфере газообразного азота, создаваемой защитным газом азотом, подаваемым из форсунок в направлении к продольной области шва во время проходов сварки. Валик сварного шва из заваренной лазером продольной области шва удаляли при помощи выглаживания или строгания. Полу цилиндрическую заготовку с

закрытым швом (сваренную) подвергали радиальному расширению на примерно 1% (в расчете на внутренний диаметр) в труборасширителе, чтобы гарантировать, что заготовка является прямолинейной в продольном направлении и круглой по периметру. Сваренная и расширенная полая цилиндрическая заготовка имела следующие размеры: длину 18,0 фута (5,5 м), внутренний диаметр 9,25 дюйма (235,0 мм) и внешний диаметр 10,375 дюйма (263,5 мм).

Сваренную и расширенную полую цилиндрическую заготовку подвергали обратному ротационному выдавливанию при комнатной температуре, уменьшив внешний диаметр до 9,875 дюйма (250,8 мм) и увеличив длину до 36 футов (11,0 м) (примерно 50%-ное относительное уменьшение площади). Полученная в результате труба из супердуплексной нержавеющей стали сплава 2507 имеет следующие размеры: длину 36 футов (11,0 м), внешний диаметр 9,875 дюйма (250,8 мм) и толщину стенки 0,625 дюйма (15,9 мм).

Труба из супердуплексной нержавеющей стали сплава 2507 имеет предел текучести по меньшей мере 110 кфунт/кв.дюйм (758 МПа) и не более 160 кфунт/кв.дюйм (1103 МПа), предел прочности при растяжении по меньшей мере 125 кфунт/кв.дюйм (862 МПа), относительное удлинение по меньшей мере 9% и твердость HRC не более 38. Труба из супердуплексной нержавеющей стали сплава 2507 соответствует спецификации ANSI/API Specification 5CRA, первое издание, февраль 2010.

В этом описании изложены различные признаки и характеристики изобретения для обеспечения полного понимания описанных способов и изделий. Понятно, что изложенные в этом описании различные признаки и характеристики могут быть скомбинированы любым подходящим образом, вне зависимости от того, изложены ли такие признаки и характеристики в этом описании явным образом в комбинации. Заявитель намеренно считает такие комбинации признаков и характеристик, входящими в объем этого описания. Фактически, формула изобретения может быть изменена указанием в любой комбинации, любых признаков и характеристик, явным или неявным образом изложенных в этом описании или иным образом явно или неявно подкрепленных этим описанием. Помимо этого, заявитель оставляет за собой право изменять формулу изобретения, безоговорочным образом исключая из объема охраны те признаки и характеристики, которые могут иметься при уровне техники, даже если такие признаки и характеристики явным образом не изложены в этом описании. Таким образом, любые такие изменения будут соответствовать требованиям письменного описания и достаточности раскрытия (например, по статье 123(2) Европейской патентной конвенции) и не будут привносить новую сущность в описание или формулу изобретения. Изложенные в этом описании способы и изделия могут содержать различные признаки и характеристики, раскрытые в этом описании, состоять из них или состоять, по существу, из них.

Кроме того, любой числовой диапазон, указанный в этом описании, содержит все поддиапазоны с той же численной точностью (т.е. имеющие то же число указанных цифр), входящие в пределы указанного диапазона. Например, указанный диапазон "1,0-10,0" содержит все поддиапазоны между указанным минимальным значением 1,0 и указанным максимальным значением 10,0 (включая их), такие как, например, "2,4-7,6", даже если диапазон "2,4-7,6" явным образом не указан в тексте описания. Соответственно, заявитель оставляет за собой право изменять это описание, включая формулу изобретения, чтобы явным образом указать любой поддиапазон с той же численной точностью, входящий в диапазоны, явным образом указанные в этом описании. Все такие диапазоны неотъемлемым образом приведены в этом описании, так что изменение с явным указанием любых таких поддиапазонов будет соответствовать требованиям письменного описания и достаточности раскрытия (например, по статье 123(2) Европейской патентной конвенции) и не будет привносить новую сущность в описание или формулу изобретения. В дополнение к этому числовые параметры, приведенные в этом описании, должны истолковываться с учетом числа указанных значащих цифр, численной точности числа и с применением обычных методов округления. Также понятно, что числовые параметры, приведенные в этом описании, будут неизбежно обладать присущей им изменчивостью, характерной для лежащих в основе методов измерений, используемых для определения численного значения параметра.

Любой патент, публикация или другой материал раскрытия, указанные в этом описании, включены в это описание по ссылке во всей их полноте, если не указано иное, но только в той степени, в которой включенный материал не противоречит существующим описаниям, определениям, утверждениям или другому материалу раскрытия, явным образом приведенным в этом описании. Фактически и в необходимой степени, приведенное в этом описании явное раскрытие заменяет любой противоречащий материал, включенный по ссылке. Любой материал или его часть, которые включены в это описание по ссылке, но которые противоречат существующим определениям, утверждениям или другим материалам раскрытия, приведенным здесь, включены только в той степени, в которой не возникает противоречие между включенным материалом и существующим материалом раскрытия. Заявитель оставляет за собой право изменять это описание, чтобы в явном виде указать любой объект или его часть, включенные по ссылке.

Подразумевается, что указание в этом описании имен существительных в единственном числе подразумевается имеющим смысл "по меньшей мере один" или "один или более", если не указано иное. Таким образом, указание в этом описании существительных в единственном числе предполагает один указанный объект или более одного указанного объекта (т.е. "по меньшей мере один"). В качестве примера "деталь" означает одну или более деталей, и поэтому, возможно, предполагается наличие более чем од-

ной детали, которые могут применяться или использоваться при реализации на практике описанных способов, составов и изделий. Помимо этого, употребление существительного в единственном числе включает множественное число, а употребление существительного во множественном числе включает единственное число, если контекст такого употребления не требует иного.

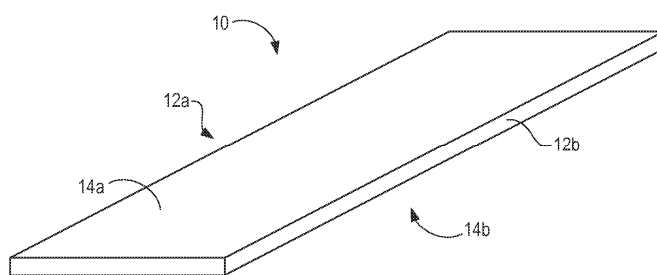
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ изготовления трубы, содержащий механическую обработку или шлифование плиты из коррозионностойкого сплава до плоскостности $\pm 0,508$ мм; деформирование упомянутой плиты из коррозионностойкого сплава с получением полой цилиндрической заготовки, имеющей продольную область шва, находящуюся между двумя примыкающими концами деформированной плиты; сварку продольной области шва для соединения друг с другом примыкающих концов, причем сварку выполняют с использованием бесприсадочного метода сварки; и ротационное выдавливание полой цилиндрической заготовки при температуре холодной обработки давлением с относительным уменьшением площади от 30 до 65% с получением трубы из коррозионностойкого сплава.
2. Способ по п.1, в котором полую цилиндрическую заготовку получают из плиты таким образом, чтобы зерна коррозионностойкого сплава были значительно ориентированы в продольном направлении заготовки.
3. Способ по п.1 или 2, в котором деформирование плиты из коррозионностойкого сплава с получением полой цилиндрической заготовки содержит гибку на валках плиты из коррозионностойкого сплава.
4. Способ по любому из пп.1-3, в котором сварку выполняют в атмосфере азота.
5. Способ по любому из пп.1-3, в котором сварка содержит лазерную сварку продольной области шва для соединения друг с другом примыкающих концов.
6. Способ по п.5, в котором лазерную сварку выполняют в атмосфере азота.
7. Способ по любому из пп.1-6, дополнительно содержащий радиальное расширение сваренной полой цилиндрической заготовки перед ротационным выдавливанием.
8. Способ по п.7, в котором радиальное расширение сваренной полой цилиндрической заготовки выполняют по меньшей мере на 0,5%.
9. Способ по любому из пп.1-8, дополнительно содержащий удаление валика сварного шва из сваренной продольной области шва.
10. Способ по п.9, в котором удаление валика сварного шва содержит его выравнивание или строгание.
11. Способ по любому из пп.1-10, дополнительно содержащий отжиг сваренной полой цилиндрической заготовки после сварки и до ротационного выдавливания.
12. Способ по п.11, в котором отжиг содержит нагрев заготовки до температуры ее поверхности в диапазоне от 1010 до 1177°C (1850-2150°F).
13. Способ по п.11, в котором отжиг вызывает рекристаллизацию, по меньшей мере, зоны термического влияния сваренной заготовки.
14. Способ по п.11, дополнительно содержащий закалку полой цилиндрической заготовки после отжига.
15. Способ по п.14, в котором заготовку закаляют от температуры отжига спустя не более чем 30 мин времени при указанной температуре.
16. Способ по п.14, в котором закалку выполняют со скоростью охлаждения, которая предотвращает выделение вредных фаз во время охлаждения.
17. Способ по п.14, в котором закалка содержит закалку в воде.
18. Способ по любому из пп.1-17, в котором ротационное выдавливание содержит обратное ротационное выдавливание.
19. Способ по любому из пп.1-18, содержащий ротационное выдавливание полой цилиндрической заготовки за один проход с получением трубы из коррозионностойкого сплава.
20. Способ по любому из пп.1-19, дополнительно содержащий отжиг полученной ротационным выдавливанием трубы.
21. Способ по любому из пп.1-20, в котором коррозионностойкий сплав содержит мартенситную нержавеющую сталь, мартенситно-ферритную нержавеющую сталь, дуплексную нержавеющую сталь, супердуплексную нержавеющую сталь, гипердуплексную нержавеющую сталь, аустенитную нержавеющую сталь, аустенитный сплав на основе никеля, аустенитный суперсплав на основе никеля или сплав на основе титана.
22. Способ по любому из пп.1-21, в котором коррозионностойкий сплав содержит дуплексную нержавеющую сталь, супердуплексную нержавеющую сталь или гипердуплексную нержавеющую сталь.
23. Способ по любому из пп.1-22, в котором коррозионностойкий сплав содержит супердуплексную

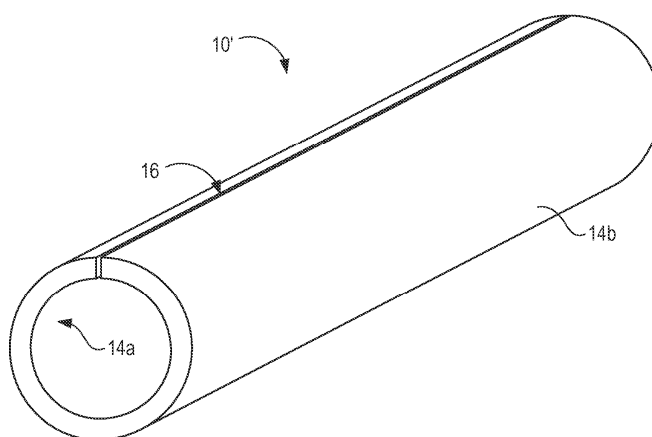
нержавеющую сталь, имеющую объемную долю феррита в диапазоне от 35 до 55%, или дуплексную нержавеющую сталь, имеющую объемную долю феррита в диапазоне от 40 до 60%.

24. Способ по любому из пп.1-23, в котором коррозионностойкий сплав содержит сплав на основе никеля или сплав на основе титана.

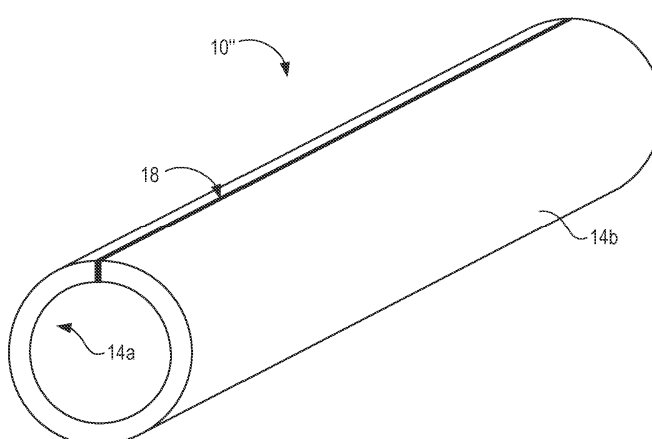
25. Способ изготовления трубы по п.1, причем плита из коррозионностойкого сплава содержит плиту из нержавеющей стали, причем нержавеющая сталь содержит дуплексную, супердуплексную или гипердуплексную нержавеющую сталь, при этом сварку выполняют с использованием бесприсадочного метода лазерной сварки, отжигают сваренную лазерной сваркой заготовку и осуществляют обратное ротационное выдавливание сваренной лазерной сваркой полой цилиндрической заготовки при температуре холодной обработки давлением с получением трубы из нержавеющей стали.



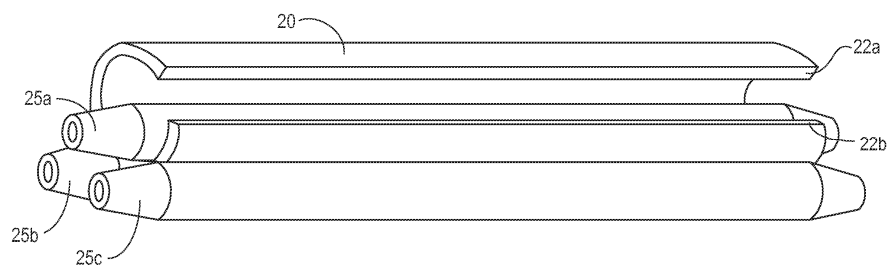
Фиг. 1А



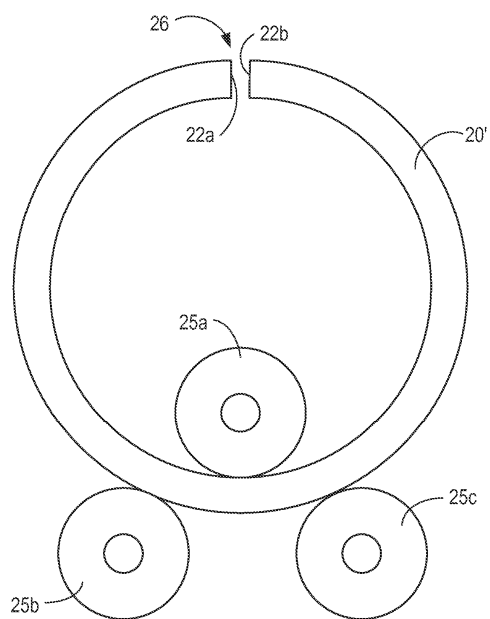
Фиг. 1В



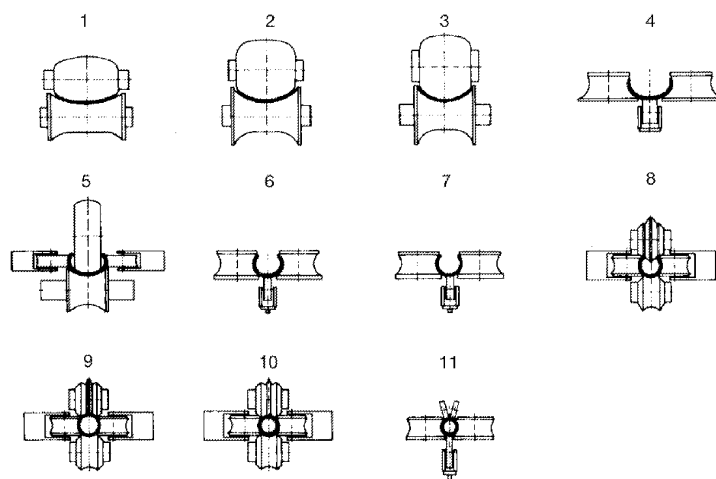
Фиг. 1С



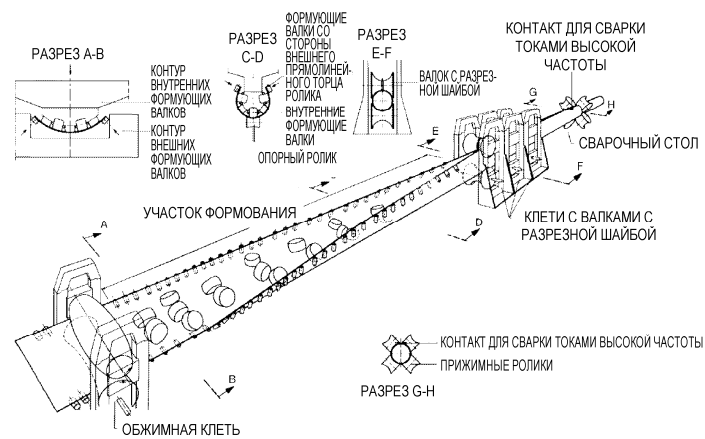
Фиг. 2А



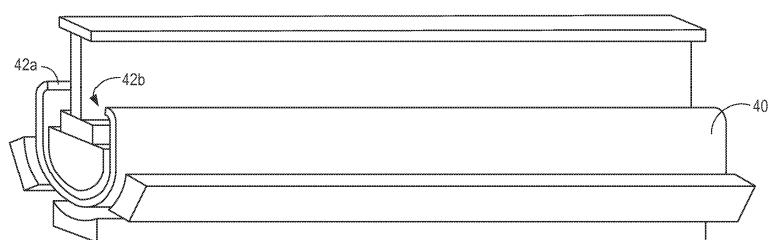
Фиг. 2В



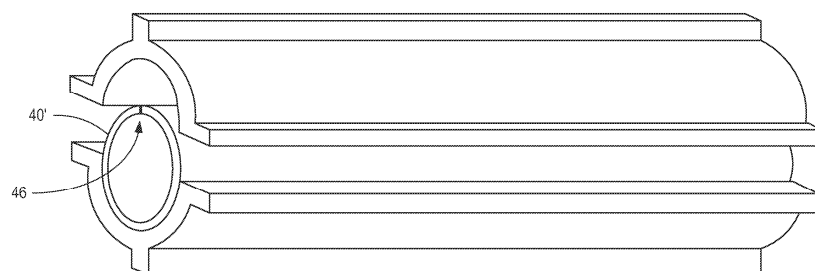
Фиг. 3А



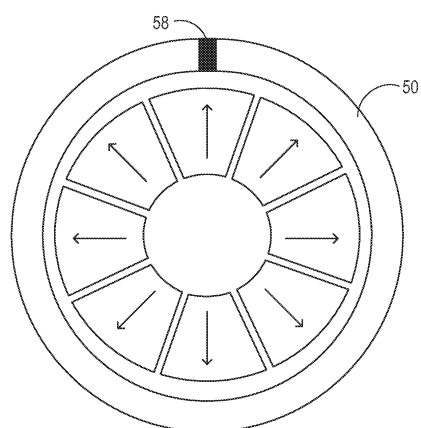
Фиг. 3В



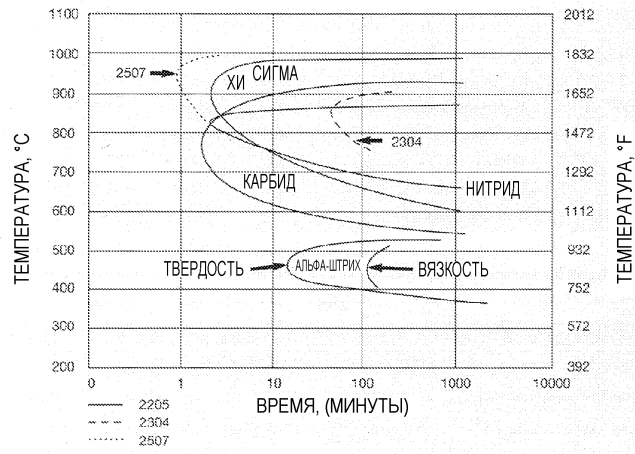
Фиг. 4А



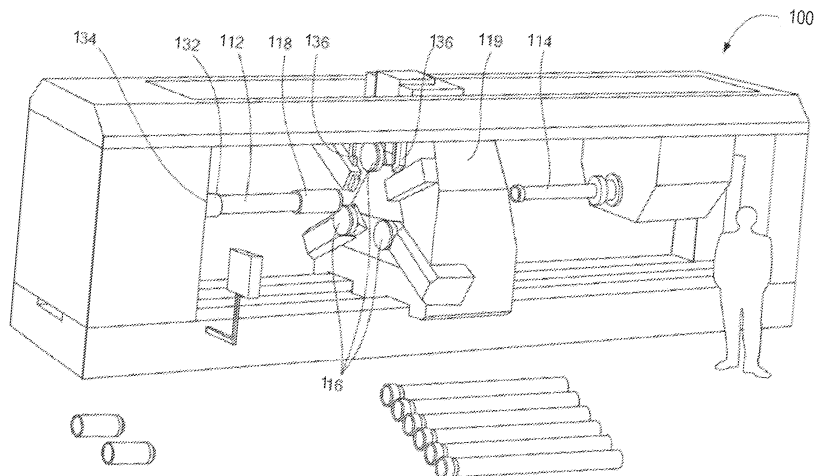
Фиг. 4В



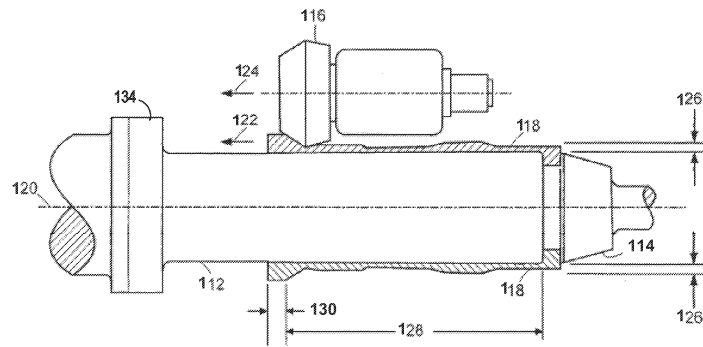
Фиг. 5



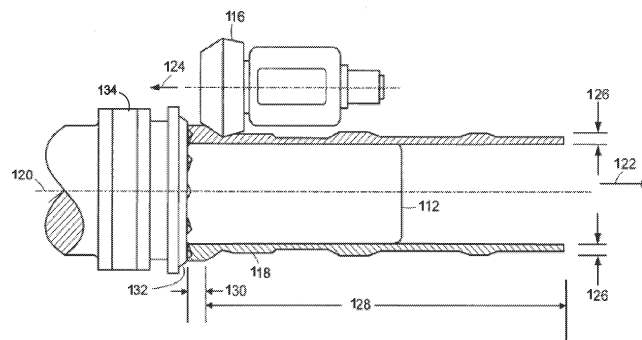
Фиг. 6



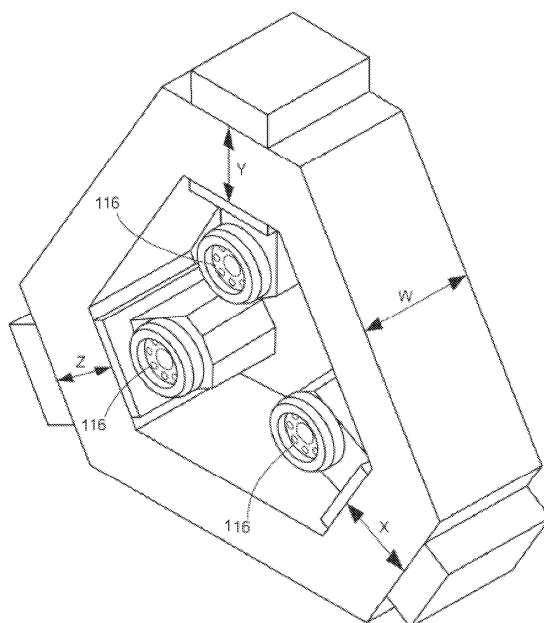
Фиг. 7



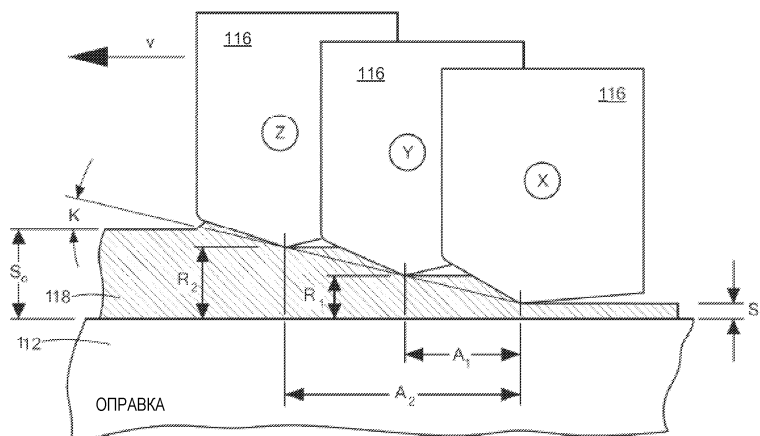
Фиг. 8



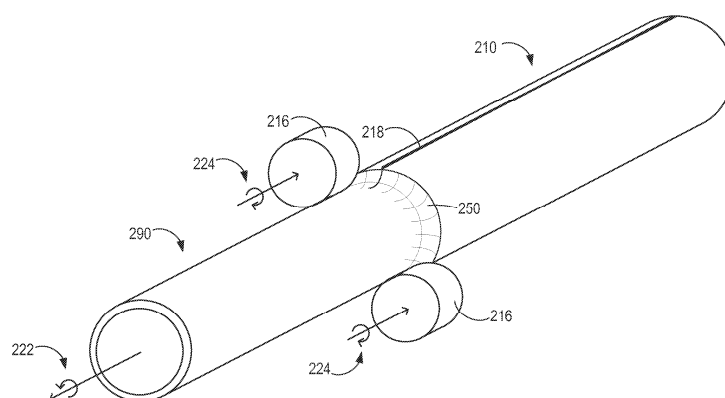
Фиг. 9



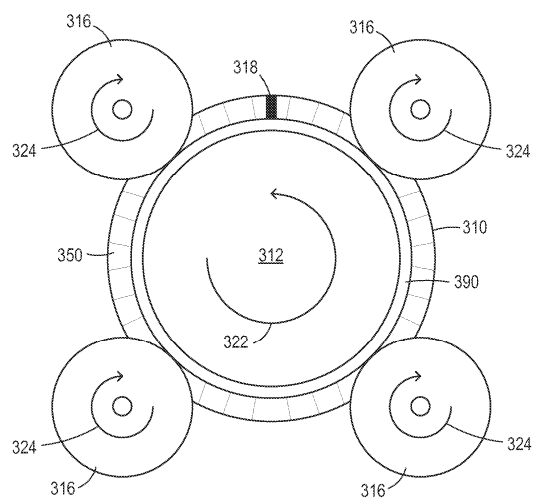
Фиг. 10



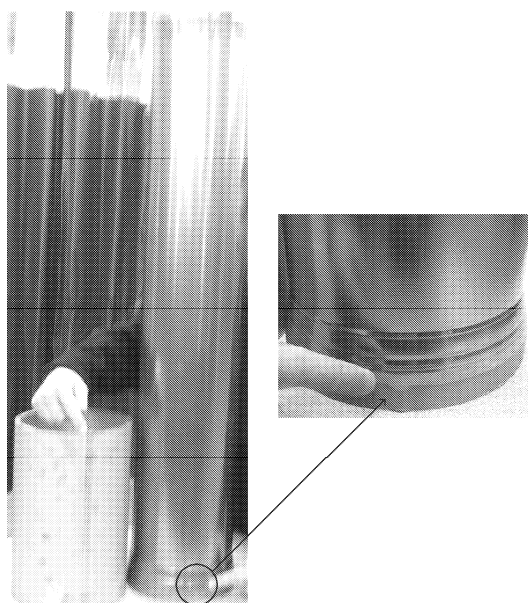
Фиг. 11



Фиг. 12



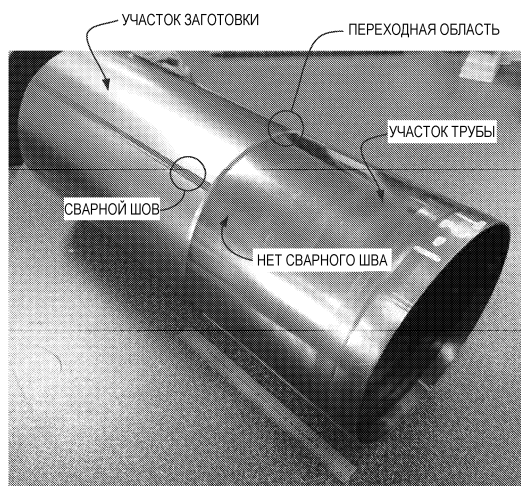
Фиг. 13



Фиг. 14А-14В



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17

