

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **042580**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.03.01**

(21) Номер заявки  
**202092831**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.12.26**

(51) Int. Cl. **B21B 37/00** (2006.01)  
**C22C 16/00** (2006.01)  
**C21D 8/10** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ТРУБНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЦИРКОНИЯ**

---

(43) **2022.06.03**

(86) **PCT/RU2019/001024**

(87) **WO 2021/133195 2021.07.01**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"ТВЭЛ" (RU)**

(56) **US-A-5560790**  
**US-A1-20160307651**  
**RU-A-2298042**

(72) Изобретатель:  
**Новиков Владимир Владимирович,  
Кабанов Александр Анатольевич,  
Никулина Антонина Васильевна,  
Маркелов Владимир Андреевич,  
Саблин Михаил Николаевич,  
Филатова Надежда Константиновна,  
Соловьев Вадим Николаевич,  
Ожмегов Кирилл Владимирович,  
Чинейкин Сергей Владимирович,  
Лозицкий Сергей Васильевич,  
Зиганшин Александр Гусманович  
(RU)**

(74) Представитель:  
**Снегов К.Г. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к области ядерной техники, в частности к получению трубных изделий из циркониевого сплава, используемых в качестве элементов конструкции активной зоны ядерных реакторов с водяным охлаждением, в частности для реакторов типа ВВЭР и PWR. Способ получения трубных изделий из сплава на основе циркония включает выплавку слитка многократным вакуумно-дуговым переплавом, механическую обработку слитка, нагрев, многостадийную горячую ковку слитка с получением поковки, последующую механическую обработку поковки с получением заготовки круглого профиля, получение трубных заготовок, их закалку и отпуск, нанесение на них защитного покрытия и нагрев до температуры горячего прессования, горячее прессование, удаление с них защитного покрытия, их вакуумную термическую обработку, многократную холодную прокатку с получением трубных изделий, причем после каждой холодной прокатки проводят промежуточную вакуумную термическую обработку, а окончательную вакуумную термическую обработку осуществляют на финишном размере, с последующими финишными отделочными операциями. Техническим результатом является обеспечение технологичности материала на всех этапах горячей и холодной обработки давлением, применяемых при изготовлении трубных изделий, а также высокие прочностные характеристики трубных изделий и их коррозионная стойкость.

---

**B1**

**042580**

**042580**

**B1**

### Область техники

Изобретение относится к области ядерной техники, в частности к получению трубных изделий из циркониевого сплава, используемых в качестве элементов конструкции активной зоны ядерных реакторов с водяным охлаждением, в частности для реакторов типа ВВЭР и PWR.

### Предшествующий уровень техники

Циркониевые сплавы применяются в качестве материалов для конструктивных элементов в энергетических ядерных реакторах из-за своих уникальных свойств: малого сечения поглощения тепловых нейтронов и физико-механических свойств. К изделиям активной зоны реактора из циркониевых сплавов предъявляются требования по коррозионной стойкости и наводороживанию в высокотемпературной воде и водяном паре, прочности, радиационному росту, термической и радиационно-термической ползучести. Материалы также должны обладать высокими технологическими характеристиками. Свойства и технологичность изделий из этого сплава зависят не только от состава, но и способа их получения, включая выплавку слитка, горячую и холодную обработку, режимы термообработок на промежуточном и готовом размере, финишные отделочные операции.

Известен "Способ изготовления трубных изделий из циркониевых сплавов (варианты)" RU 2123065 C1 (опубл. 12.03.1997 г., кл. C22F 1/18), который включает для многокомпонентного циркониевого сплава горячую предварительную деформацию выплавленного слитка, получение трубной заготовки путем горячего формования (выдавливанием), закалку, механическую обработку и отпуск, холодное деформирование с промежуточными термообработками и окончательный отжиг.

Недостатки способа заключаются в том, что перед горячим выдавливанием на заготовки не наносится защитное покрытие, что приводит к окислению металла во время процесса и снижает технологичность производства трубных изделий, не предусмотрены финишные отделочные операции, которые позволяют удалять с поверхности трубных изделий остаточные технологические загрязнения и понизить шероховатость поверхности, что ухудшает коррозионную стойкость изделий.

Известен "Способ получения изделий из циркониевых сплавов" RU 2110600 C1 (опубл. 10.05.1998 г., кл. C22F 1/18), который включает изготовление из слитка горячим формованием (выдавливанием) исходной заготовки, затем горячим формованием промежуточной заготовки, разрезанные мерные заготовки закаляют и отпускают, горячее формование и отпуск затем холодная прокатка.

Недостатки способа заключаются в том, что перед горячим выдавливанием не наносится защитное покрытие, что приводит к окислению металла во время процесса, что снижает технологичность производства трубных изделий; не предусмотрены финишные отделочные операции, которые позволяют удалять с поверхности трубных изделий остаточные технологические загрязнения и понизить шероховатость поверхности, что ухудшает коррозионную стойкость изделий.

Известны "Трубы из сплавов на основе циркония и метод их изготовления" RU 2298042 C2 (опубл. 27.04.2004 г., кл. C22F 1/18, C21D 1/18, C22C 16/00). Метод изготовления включает гомогенизирующую обработку выдавленных трубных гильз, закалку их в воду, отжиг со снятием напряжений, двухстадийную холодную прокатку с промежуточным и окончательным отжигами.

Недостатки патента заключаются в том, что перед горячим выдавливанием не наносится защитное покрытие, что может приводить к окислению металла во время процесса и в результате снижение технологичности производства трубных изделий. Использование двухпрокатной схемы холодной обработки с использованием финишной гомогенизирующей обработки в  $(\alpha+\beta)$ -области позволяет получить высокую прочность изделия, при этом отжиг в  $(\alpha+\beta)$ -области приводит к появлению в структуре изделия метастабильной  $\beta$ -Zr-фазы, оказывающей отрицательное действие на коррозию циркониевых сплавов. В технологической схеме не предусмотрены финишные отделочные операции, позволяющие удалять с поверхности трубных изделий остаточные технологические загрязнения и понижающие шероховатость поверхности, что снижает коррозионную стойкость изделий.

Наиболее близким к заявляемому способу является патент "Циркониевый сплав, имеющий превосходную коррозионную стойкость, для оболочек твэлов и способ их производства" US 2016/0307651 A1 (опубл. 20.10.2016, кл. G21C 3/07, B22D 21/00, B22D 7/00, C22C 16/00, C22F 1/18). В патенте указан состав коррозионностойкого циркониевого сплава и способ получения оболочек твэлов из него, включающий выплавку слитка, покрытие слитка защитным стальным кожухом, термообработку слитка с кожухом перед горячей прокаткой, горячую прокатку, снятие защитного стального покрытия, термообработку горячекатаных трубных заготовок, три прохода холодной прокатки, промежуточные термообработки после каждого проката и финишную термообработку.

Недостатки способа: применение стального кожуха, содержащего углерод, который при температуре горячей прокатки может взаимодействовать с циркониевым сплавом с образованием карбидов. Горячая прокатка слитка не обеспечивает однородную проработку литой структуры и характеризуется осевой пористостью заготовок. Количество и размер пор увеличивается от периферии к центру заготовок, что приводит к ухудшению технологичности материала. Низкие температуры промежуточных отжигов (1-й проход 570-590°C, 2-й проход 560-580°C, 3-й проход 560-580°C) при выбранной деформационной схеме изготовления (30-40) % деформации на первой и третьей, (50-60) % на второй стадии холодной деформации

ции) недостаточны для релаксации остаточных напряжений и протекания процессов рекристаллизации, что отрицательно сказывается на технологичности материала и его стойкости к ползучести и радиационному росту. Использование трех уровней длительного финишного отжига (1-й уровень 460-470°C, 2-й уровень 510-520°C, 3-й уровень 580-590°C) позволяет получить повышенный уровень прочности материала, при этом характеристики стойкости к ползучести и радиационному росту также ухудшаются в первую очередь из-за незавершенности процесса рекристаллизации. Кроме того, использование горячей прокатки при  $T = 630-650^\circ\text{C}$  в сочетании с малым количеством стадий холодной деформации и низкими температурами отжигов не позволяет завершить процесс дробления и распада метастабильной  $\beta\text{-Zr}$ -фазы, что приводит к ухудшению коррозионной стойкости изделий. В технологической схеме не предусмотрены финишные отделочные операции, позволяющие удалить с поверхности трубных изделий остаточные технологические загрязнения и понижающие шероховатость поверхности, что снижает коррозионную стойкость изделий.

### Раскрытие изобретения

Задачей настоящего изобретения является разработка способа получения трубных изделий, используемых в качестве элементов конструкции активной зоны ядерных реакторов с водяным охлаждением, в частности для реакторов типа ВВЭР и РWR.

Техническим результатом является обеспечение технологичности материала на всех этапах горячей и холодной обработки давлением, применяемых при изготовлении трубных изделий, а также высокие прочностные характеристики трубных изделий и их коррозионную стойкость.

Технический результат достигается в способе получения трубных изделий из сплава на основе циркония, содержащего мас. %: ниобий 0,9-1,7, олово 0,5-2,0, железо 0,3-1,0, хром 0,002-0,200, углерод 0,003-0,040, кислород 0,04-0,15, кремний 0,002-0,15, цирконий - остальное, включающем выплавку слитка многократным вакуумно-дуговым переплавом, механическую обработку слитка, нагрев, многостадийную горячую ковку слитка с получением поковки, последующую механическую обработку поковки с получением заготовки круглого профиля, получение трубных заготовок, их закалку и отпуск, нанесение на них защитного покрытия и нагрев до температуры горячего прессования, горячее прессование, удаление с них защитного покрытия, их вакуумную термическую обработку, многократную холодную прокатку с суммарной степенью деформации за проход 25,6-56,8 % и трубным коэффициентом  $Q=1,0-6,4$  с получением трубных изделий, причем после каждой холодной прокатки проводят промежуточную вакуумную термическую обработку, а окончательную вакуумную термическую обработку осуществляют на финишном размере, с последующими финишными отделочными операциями.

Многостадийную горячую ковку слитка проводят при температуре от 980 до 720°C с суммарной степенью деформации 93% и с промежуточными подогревами при температуре от 890 до 850°C.

Трубные заготовки получают путем сверления осевого центрального и последующей расточки осевого центрального отверстия в заготовке круглого профиля, разрезанной на мерные длины.

Закалку проводят при температуре 1050-1100°C и отпуск при температуре 450-600°C.

Горячее прессование трубной заготовки проводят при температуре от 640 до 600°C с вытяжкой  $\mu=8,5-9,0$ .

Вакуумную термическую обработку трубных заготовок в промежутках между горячим прессованием и холодной прокаткой проводят при температуре 605-630°C.

Многократную холодную прокатку трубных заготовок осуществляют с суммарной степенью деформации за проход 41,8-56,8% и трубным коэффициентом  $Q=1,0-1,6$  для трубных изделий постоянного сечения.

Многократную холодную прокатку трубных заготовок осуществляют с суммарной степенью деформации за проход 25,6-56,5% и трубным коэффициентом  $Q=1,0-6,4$  для трубных изделий переменного сечения.

Вакуумную термическую обработку трубных заготовок в промежутках между холодными прокатками проводят при температуре 570-630°C.

Окончательную вакуумную термическую обработку трубных изделий осуществляют при температуре 535-545°C.

Окончательную вакуумную термическую обработку трубных изделий осуществляют при температуре 600-620°C.

Вакуумную термическую обработку трубных изделий проводят при остаточном давлении в печи не выше  $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст.

На финишном размере трубных изделий проводят химическую и механическую обработку их поверхностей.

Выбранное соотношение легирующих компонентов в циркониевом сплаве обеспечивает технологические свойства, коррозионностойкость, стабильные характеристики механических свойств и стойкость к формоизменению трубных изделий.

Преимуществом получения трубных изделий по заявляемому изобретению является то, что горячая деформационно-термическая обработка обеспечивает равномерную проработку литой структуры по дли-

не и сечению слитка, применение защитного покрытия обеспечивает защиту от газонасыщения и исключает диффузионное взаимодействие покрытие-трубная заготовка. Также процесс обеспечивает изготовление трубных изделий с максимально возможными для данного состава уровнем вязкости разрушения и пластичности. Многократная холодная прокатка с суммарной степенью деформации за проход 25,6-56,8% и трубным коэффициентом  $Q=1,0-6,4$  с промежуточными вакуумными термическими обработками приводит к формированию на переделах структуры материала с минимальными остаточными напряжениями и протеканию процессов рекристаллизации, что улучшает технологичность трубных изделий. В зависимости от необходимых требований по прочности трубных изделий окончательную вакуумную термическую обработку трубных изделий осуществляют в двух различных температурных диапазонах. Первый диапазон (535-545°C) обеспечивает формирование однородной частично-рекристаллизованной (степень рекристаллизации не менее 40%) структуры, второй диапазон (600-620°C) обеспечивает формирование однородной рекристаллизованной структуры (степень рекристаллизации 100%).

Финишные отделочные операции обеспечивают шероховатость поверхности Ra менее 0,8 мкм на наружной и внутренней поверхностях, что повышает стабильность коррозионного поведения изделий.

#### **Осуществление изобретения**

Способ осуществляют следующим образом:

Пример 1.

По заявленному техническому решению технология изготовления трубных изделий из циркония включает следующие операции. Выплавка слитка сплава составом, мас. %: ниобий 1,05-1,07, олово 1,24-1,27, железо 0,31-0,34, хром 0,0025-0,003, углерод 0,011-0,019, кислород 0,064-0,065, кремний 0,0025-0,0035, цирконий - остальное. Исходные легирующие компоненты смешивают с электролитическим порошком циркония, затем формируют расходные электроды, которые переплавляют двукратным вакуумно-дуговым переплавом. Боковую поверхность слитка механически обрабатывают. Слиток нагревают до температуры 980°C. Многостадийную горячую ковку слитка на первой стадии ведут при температуре 980°C, на последней стадии при температуре 720°C, с промежуточными подогревами в интервале температур от 890 до 850°C.

При горячей ковке слитка суммарная деформация  $\Sigma \epsilon$  составляет 93%. Нагрев и промежуточные подогревы слитка осуществляют в электропечи сопротивления. Заготовки круглого профиля  $\varnothing 109 \times 28,5$  мм получают путем механической обработки поковок.

Трубные заготовки получают путем сверления осевого центрального и последующей расточки осевого центрального отверстия в заготовке круглого профиля, разрезанной на мерные длины.

Закалку проводят при температуре 1050-1100°C, а отпуск осуществляют при температуре 450-600°C. Шероховатость поверхности заготовок составляет не более  $Ra=2,5$  мкм. Далее на трубные заготовки наносят покрытие для защиты от газонасыщения в последующих процессах нагрева и горячего прессования, например, медное с использованием операции нанесения медного покрытия.

Нагрев трубных заготовок под горячее прессование осуществляют в электропечи сопротивления. Температура нагрева трубных заготовок перед прессованием находится в диапазоне от 640 до 600°C. Прессование осуществляют с вытяжкой  $\mu=8,9$ . Далее снимают медное покрытие.

Далее трубные заготовки направляют на вакуумную термическую обработку  $T = 605-630^\circ\text{C}$ . Трубные заготовки прокатывают на станах холодной прокатки труб типа ХПТ, ХПТР, КРВ за 5 прокаток с суммарной деформацией  $\Sigma \epsilon$  за проход от 41,8 до 56,5% при этом трубный коэффициент  $Q$  находится в диапазоне 1,00-1,6 с получением трубных изделий постоянного сечения. Промежуточные вакуумные термические обработки осуществляют в диапазоне температур от 570 до 610°C. Окончательную вакуумно-термическую обработку осуществляют при  $T = 535-545^\circ\text{C}$  или при  $T = 600-620^\circ\text{C}$ . Применяют вакуумные печи с уровнем разряжения не менее  $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст.

После финишного отжига и правки трубы проходят комплекс операций, а именно - струйное травление, щелочную обработку, шлифование поверхности.

Трубные изделия  $\varnothing 12,60 \times 11,24$  мм из сплава, изготовленные по заявленному техническому решению, характеризуются следующими свойствами (таблица, пример 1).

Пример 2.

Осуществляют аналогично примеру 1. Состав сплава, мас. %: ниобий 0,94-0,97, олово 1,15-1,20, железо 0,40-0,46, хром 0,004-0,005, углерод 0,008-0,009, кислород 0,10-0,11, кремний 0,0055-0,0060. Исходные легирующие компоненты смешивают с магнийтермической губкой циркония, затем формируют расходные электроды, которые переплавляют трехкратным вакуумно-дуговым переплавом.

Трубные изделия  $\varnothing 12,60 \times 10,90$  мм, изготовленные по заявленному техническому решению, характеризуются следующими свойствами (таблица, пример 2).

Пример 3.

Осуществляют аналогично примеру 1. Состав сплава, мас. %: ниобий 0,90-0,93, олово 1,18-1,22, железо 0,82-0,87, хром 0,008-0,009, углерод 0,010-0,011, кислород 0,082-0,086, кремний 0,0052-0,0058. Исходные легирующие компоненты смешивают с магнийтермической губкой циркония, затем формируют расходные электроды, которые переплавляют двукратным вакуумно-дуговым переплавом.

Трубные изделия  $\varnothing 13,00 \times 11,00$  мм, изготовленные по заявленному техническому решению, характеризуются следующими свойствами (таблица, пример 3).

Пример 4.

По заявленному техническому решению технология изготовления трубных изделий из циркония включает следующие операции. Выплавка слитка сплава составом, мас. %: ниобий 1,06-1,09, олово 1,28-1,30, железо 0,65-0,68, хром 0,009-0,011, углерод 0,009-0,010, кислород 0,08-0,09, кремний 0,009-0,010. Исходные легирующие компоненты смешивают с электролитическим порошком циркония, затем формируют расходные электроды, которые переплавляют двукратным вакуумно-дуговым переплавом. Боковую поверхность слитка механически обрабатывают. Слиток нагревают до температуры 980°C. Многостадийную горячую ковку слитка осуществляют в диапазоне температур от 980 до 720°C с промежуточными подогревами в интервале температур от 890 до 850°C.

При многостадийной горячей ковке слитка суммарная деформация  $\Sigma \varepsilon$  составляет 93%. Нагрев и промежуточные подогревы слитка осуществляют в электропечи сопротивления. Заготовки круглого профиля  $\varnothing 109 \times 28,5$  мм изготавливают с использованием механической обработки поковок. Трубные заготовки получают путем сверления осевого центрального и последующей расточки осевого центрального отверстия в заготовке круглого профиля, разрезанной на мерные длины. Шероховатость поверхности заготовок составляет не более  $Ra=2,5$  мкм. Закалку проводят при температуре 1050-1100°C, а отпуск осуществляют при температуре 450-600°C.

Далее на заготовки наносят для защиты от газонасыщения в последующих процессах нагрева и горячего прессования медное покрытие.

Нагрев заготовок под горячее прессование осуществляют в электропечи сопротивления. Температура нагрева заготовки перед прессованием находится в диапазоне  $T=640-600^\circ\text{C}$ . Прессование осуществляют с вытяжкой  $\mu=8,9$ . Далее снимают медное покрытие.

Далее заготовки направляют на вакуумную термическую обработку при  $T=605-630^\circ\text{C}$ . Затем полученные заготовки прокатывают на станах холодной прокатки труб типа ХПТ, ХПТР за 6 прокаток при этом трубный коэффициент  $Q$  находится в диапазоне 1,0-6,4. Формирование переменного сечения трубных заготовок осуществляют с применением комбинированной ступенчатой оправки с суммарной степенью деформации  $\Sigma \varepsilon = 25,6-56,5\%$ .

Промежуточные вакуумные термические обработки осуществляют в диапазоне температур от  $T=575-590^\circ\text{C}$ . Окончательную вакуумную термическую обработку трубных изделий проводят при  $T=535^\circ\text{C}$  или при  $T=610^\circ\text{C}$ , в зависимости от требований по прочности. Применяют вакуумные печи с уровнем разряжения не менее  $1 \cdot 10^{-4}-1 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст.

После окончательной вакуумной термической обработки трубных изделий проводят комплекс финишных отделочных операций: струйное травление, щелочную обработку, шлифование поверхности.

В результате формирования трубных изделий переменного сечения из трубной заготовки переменного сечения с различной степенью накопленной деформации в различных частях трубной заготовки, тонкостенная и толстостенная части готовой трубы, получают приблизительно одинаковую степень накопленной деформации, что после окончательной вакуумной термической обработки обеспечивает однородность механических свойств трубных изделий.

Трубные изделия  $\varnothing 12,60 \times 11,24$  (10,1) мм, изготовленные по заявленному техническому решению, характеризуются следующими свойствами (таблица, пример 4).

Пример 5.

Осуществляют аналогично примеру 4.

Трубные изделия  $\varnothing 12,60 \times 10,90$  (8,8) мм, изготовленные по заявленному техническому решению, характеризуются следующими свойствами (таблица, пример 5).

#### **Промышленная применимость**

Таким образом, представленный способ изготовления трубных изделий обеспечивает высокие прочностные характеристики и коррозионную стойкость трубных изделий.

## Свойства труб из сплава системы Zr-Nb-Sn-Fe, изготовленных по заявленному техническому решению

Пр №	Хим состав сплава, масс %	Количество переплавов/ вес слитка конечного переплава, тонн	Размеры труб, мм	Механические свойства												Коррозия 400 °С τ=3600 ч	Шероховатость Ра, мкм
				Т <sub>испытания</sub> =20°С						Т <sub>испытания</sub> =350°С							
				σ <sub>0,2</sub> <sup>т</sup> , МПа	σ <sub>0,2</sub> <sup>н</sup> , МПа	δ <sup>т</sup> , %	σ <sub>0,2</sub> <sup>н</sup> , МПа	σ <sub>0,2</sub> <sup>н</sup> , МПа	δ <sup>н</sup> , %	σ <sub>0,2</sub> <sup>т</sup> , МПа	σ <sub>0,2</sub> <sup>н</sup> , МПа	δ <sup>т</sup> , %	σ <sub>0,2</sub> <sup>н</sup> , МПа	σ <sub>0,2</sub> <sup>н</sup> , МПа	δ <sup>н</sup> , %		
1	Nb 1,05-1,07, Sn 1,24-1,27, Fe 0,31-0,34, Cr 0,0025-0,003, C 0,011-0,019, O 0,064-0,065, Si 0,0025-0,0035, Zr-остальное	2 вакуумно-дуговых переплава/ 3,5	Ø12,60×11,24 Температура ОВТО* 540 °С, 3 часа	52,5	46,0	24,6	56,3	43,3	39,1	28,1	27,0	24,6	31,4	22,2	48,2	149-156	Нар п <0,5 Вн п <0,8
		3,5	Ø12,60×11,24 Температура ОВТО* 610 °С, 3 часа	51	36	38	52	35	36	28	15,2	45	29	16	35	150-160	Нар п <0,5 Вн п <0,8
2	Nb 0,94-0,97, Sn 1,15-1,20, Fe 0,40-0,46, Cr 0,004-0,005, C 0,008-0,009, O 0,10-0,11, Si 0,0055-0,0060, Zr-остальное	3 вакуумно-дуговых переплава/ 3,5	Ø12,60×10,90 Температура ОВТО* 540 °С, 3 часа	55,5	49	22,5	56,5	41,5	33	30	27	27	31,5	20	40,5	148-152	Нар п <0,5 Вн п <0,8
3	Nb 0,9-0,93, Sn 1,18-1,22, Fe 0,82-0,87, Cr 0,008-0,009, C 0,01-0,011, O 0,082-0,086, Si 0,0052-0,0058, Zr-остальное	2 вакуумно-дуговых переплава/ 1,8	Ø13,00×11,00 Температура ОВТО* 545 °С, 3 часа	55,5	48	19	57	44	31,5	30	27,5	24,5	34	21,5	37-39	150-154	Нар п <0,5 Вн п <0,8
4	Nb 1,06-1,09 масс %, Sn 1,28-1,30 масс %, Fe 0,65-0,68 масс %, Cr 0,009-0,011 масс %, C 0,009-0,010 масс %, O 0,08-0,09 масс %, Si 0,009-0,010 масс %, Zr-остальное	2 вакуумно-дуговых переплава/ 3,5	Ø12,60×11,24 (10,1) Температура ОВТО* 535 °С, 3 часа	53	47,5	24	55	41,5	35,5	29,5	26,5	27,5	33	24	37,5	147-154	Нар п <0,5 Вн п <0,8
5	Nb 1,06-1,09, Sn 1,28-1,30, Fe 0,65-0,68, Cr 0,009-0,011, C 0,009-0,010, O 0,08-0,090, Si 0,009-0,01, Zr-остальное	2 вакуумно-дуговых переплава/ 3,5	Ø12,60×10,90 (8,8) Температура ОВТО* 600 °С, 3 часа	52,5	45,5	32	54,1	40,5	36	27	26	31	30,5	22	36	152-160	Нар п <0,5 Вн п <0,8

ОВТО\* - окончательная вакуумная термическая обработка.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения трубных изделий из сплава на основе циркония, содержащего мас. %: ниобий 0,9-1,7, олово 0,5-2,0, железо 0,3-1,0, хром 0,002-0,200, углерод 0,003-0,040, кислород 0,04-0,15, кремний 0,002-0,15, цирконий - остальное, включающий выплавку слитка многократным вакуумно-дуговым переплавом, механическую обработку слитка, нагрев, многостадийную горячую ковку слитка с получением поковки, последующую механическую обработку поковки с получением заготовки круглого профиля, получение трубных заготовок, их закалку и отпуск, нанесение на них защитного покрытия и нагрев до температуры горячего прессования, горячее прессование, удаление с них защитного покрытия, их вакуумную термическую обработку, многократную холодную прокатку с суммарной степенью деформации за проход 25,6-56,8% и трубным коэффициентом Q=1,0-6,4 с получением трубных изделий, причем после каждой холодной прокатки проводят промежуточную вакуумную термическую обработку, а окончательную вакуумную термическую обработку осуществляют на финишном размере, с последующими финишными отделочными операциями.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что многостадийную горячую ковку слитка проводят при температуре от 980 до 720°С с суммарной степенью деформации 93% и с промежуточными подогревами при температуре от 890 до 850°С.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что трубные заготовки получают путем сверления осевого центрального и последующей расточки осевого центрального отверстия в заготовке круглого профиля, разрезанной на мерные длины.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что закалку проводят при температуре 1050-1100°С и отпуск при температуре 450-600°С.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что горячее прессование трубной заготовки проводят при температуре от 640 до 600°С с вытяжкой  $\mu=8,5-9,0$ .

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что вакуумную термическую обработку трубных заготовок в промежутках между горячим прессованием и холодной прокаткой проводят при температуре 605-630°С.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что многократную холодную прокатку трубных заготовок осу-

ществляют с суммарной степенью деформации за проход 41,8-56,8% и трубным коэффициентом  $Q=1,0-1,6$  для трубных изделий постоянного сечения.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что многократную холодную прокатку трубных заготовок осуществляют с суммарной степенью деформации за проход 25,6-56,5% и трубным коэффициентом  $Q=1,0-6,4$  для трубных изделий переменного сечения.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что вакуумную термическую обработку трубных заготовок в промежутках между холодными прокатками проводят при температуре 570-630°C.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что окончательную вакуумную термическую обработку трубных изделий осуществляют при температуре 535-545°C.

11. Способ по п.1, отличающийся тем, что окончательную вакуумную термическую обработку трубных изделий осуществляют при температуре 600-620°C.

12. Способ по любому из пп.6, 9, 10, 11, отличающийся тем, что вакуумную термическую обработку трубных изделий проводят при остаточном давлении в печи не выше  $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст.

13. Способ по п.1, отличающийся тем, что на финишном размере трубных изделий проводят химическую и механическую обработку их поверхностей.

