

Винахід відноситься до стійких до корозії оболонок, призначених для контейнерів з радіоактивними матеріалами, а також до способів їх виготовлення.

У зв'язку з все зростаючим поширенням атомних електростанцій збільшується необхідність у створенні надійних і безпечних способів утилізації радіоактивних ядерних відходів. Матеріали, які не можуть бути піддані регенерації, часто повинні зберігатися протягом значного проміжку часу, що складає тисячі років або більше. Донедавна контейнери для зберігання таких радіоактивних відходів виготовляли зі сталі. Сталеві контейнери виготовляють з певної кількості частин, які потім з'єднують одна з одною за допомогою зварювання, залишаючи отвір для завантаження матеріалу, що утилізується, після чого до отвору приварюють кришку. Проблема, пов'язана зі сталевими контейнерами, полягає у виникненні небезпеки того, що згодом вони почнуть зазнавати корозії і виникне витік радіоактивного матеріалу.

Тому найбільш важлива вимога, що стосується контейнера для радіоактивних матеріалів, полягає в тому, щоб він залишався непошкодженим протягом вельми тривалого часу в умовах, які переважають в типовому обладнанні для зберігання, такому як сховище, яке знаходиться на глибині. Він не повинен бути проникним внаслідок корозії через ґрунтові води, що є в породі, в якій знаходиться таке сховище. У зв'язку з цим відомі пропозиції щодо створення стійкої до корозії оболонки для утворення, щонайменше, зовнішньої стінки контейнера. В якості прийнятних матеріалів для такої оболонки називають мідь і мідні сплави (див., наприклад, Svensk Kärnbränslehantering AB, 1996, щорічний звіт, розділ 6.2). Щоб забезпечити високу корозійну стійкість, стінки таких оболонок повинні бути як можна товщі, причому звичайна товщина знаходиться в діапазоні 30-60мм.

Можна вважати, що такі матеріали вказаної товщини забезпечать вельми тривалий період корозійної стійкості. Однак оболонки необхідно виготовляти з секцій, які з'єднують одна з одною. Процес з'єднання вважається вирішальним, оскільки довготривала корозійна стійкість буде значно зменшена, якщо саме з'єднання піддається впливу корозії. На жаль мідь і мідні сплави необхідної товщини вельми важко зварювати головним чином через їх високу точку плавлення (1083°). Тому для розв'язання цієї проблеми було запропоновано використати електронно-променеве зварювання, яке дозволяє отримати зварне з'єднання з високим ступенем монолітності, яке має корозійну стійкість, подібну корозійній стійкості матеріалу самої оболонки. Приклад електронно-променевої системи, яка розроблена The Welding Institute, і придатна для такого застосування, розкритий в патенті Великобританії PCT/GB98/02882.

На межу міцності на розтягнення і межу текучості впливає розмір зерна матеріалу, при цьому, чим менше розмір зерна, тим краще. Електронно-променеве зварювання, як згадувалося вище, дозволяє забезпечити високу корозійну стійкість, однак воно може приводити до появи в матеріалі відносно великих зерен, що мають розміри порядку міліметрів. Тому бажано спробувати забезпечити додаткове підвищення характеристик матеріалу, що зварюється з отриманням міцних зварних з'єднань між відносно товстими секціями.

Згідно з одним з аспектів даного винаходу спосіб виготовлення стійкої до корозії оболонки контейнера для радіоактивних матеріалів містить зварювання тертям, щонайменше, двох секцій з міді або мідного сплаву.

Встановлено, що зварювання тертям може бути використане для отримання зварних з'єднань, що володіють високим ступенем монолітності і високою корозійною стійкістю, і являє собою альтернативу електронно-променевому зварюванню.

Зварювання тертям являє собою спосіб, при якому голівку, з матеріалу, що володіє більшою твердістю, ніж матеріал деталей, що з'єднуються, вводять в зону з'єднання деталей, що знаходяться з кожної сторони від зони з'єднання, із забезпеченням при цьому відносного циклічного руху (наприклад, обертального або поворотно-поступального) між голівкою і деталями, які піддаються обробці, так що створюється тепло за рахунок тертя, щоб забезпечити приведення протилежних частин в пластичний стан. Як варіант, забезпечують відносний поступальний рух деталей, що піддаються обробці, і голівки в напрямі зони з'єднання і видаляють голівку, забезпечуючи можливість затвердження пластичних частин і з'єднання їх одна з одною. Приклади зварювання тертям описані в патентах EP-B-0615480 і WO 95/26254.

Зварювання тертям розроблене в якості способу зварювання тонкостінних деталей з легких сплавів, наприклад, алюмінієвих сплавів, причому до цього часу не вважалося можливим використовувати цю технологію для зварювання значно більш товстих матеріалів, зокрема, міді і мідних сплавів, оскільки добре відомо, що ці матеріали важко піддаються зварюванню внаслідок їх високої температури плавлення і високої теплопровідності. Однак заявником встановлено, що зварювання тертям може бути використане для зварювання листів міді і мідних сплавів великої товщини. Навіть якщо температура сягає лише 700-900°C, зварювання тертям, що являє собою спосіб роботи з твердою фазою, дозволяє отримати хороші результати відносно зварного з'єднання. Крім того, отримане зварне з'єднання має менший розмір зерен, ніж той, який може бути отриманий при використанні електронно-променевого зварювання. Це відбувається тому, що процес зварювання тертям приводить до розбивки зерен, коли вони формуються, а також забезпечує можливість швидкого охолодження зерен, так що вони не мають можливості суттєвого зростання. У результаті отримують зерна, розмір яких складає порядку мікронів. Випробування також показують, що твердість отриманого зварного з'єднання, як і міцність на розтягнення, фактично така ж, що у початкового матеріалу. Зварювання тертям також забезпечує можливість виготовлення оболонок, стійких до корозії, які громіздкі і тому важкі, а, отже, важко використати для їх виготовлення електронно-променеве зварювання. Вага типового контейнера для ядерних відходів може сягати 25 тонн.

Зварювання тертям можна відносно легко пристосувати для великої різноманітності зварних з'єднань із забезпеченням при цьому значного допуску на з'єднання у порівнянні з електронно-променевим зварюванням.

Зварювання тертям може бути використане для зварювання декількох або всіх частин оболонки. Наприклад, типова оболонка має циліндричну форму і буде виготовлятися з двох напівциліндрів разом з основою і кришкою, які знаходяться на кінцях. Два напівциліндри можуть бути зварені один з одним за допомогою електронно-променевого зварювання; за допомогою цього ж зварювання може бути приварена і основа, в той час як кришка може бути приварена за допомогою зварювання тертям. При цьому використовують можливість отримання вигод обох зварювальних процесів і в той же час забезпечується

можливість орієнтації оболонки таким чином, щоб отвір був звернений вгору, де кришку можна легше приварити, використовуючи зварювання тертям, а не електронно-променеве зварювання.

Звичайно стадія зварювання містить утримання секцій оболонки в нерухомому стані і переміщення інструмента для виконання зварювання тертям за лінією з'єднання, що утворюється між секціями. Однак в інших випадках можуть переміщуватися секції, а інструмент залишається нерухомим.

Оскільки оболонка звичайно орієнтована таким чином, щоб її отвір був звернений вгору для завантаження радіоактивного матеріалу, в одному з прикладів кришка і стінка оболонки, яка оточує отвір, скошені так що кришка може утримуватися оболонкою до її приварювання до стінки. У другому прикладі, щонайменше, частина кришки має розмір в поперечному напрямі, більший ніж відповідний розмір стінки оболонки, яка оточує отвір, так що кришка може утримуватися оболонкою до її приварювання до стінки.

Стійким до корозії матеріалом є мідь або мідний сплав, при цьому переважним матеріалом номінально є чиста мідь.

При певних обставинах сама оболонка може бути використана для утворення контейнера для радіоактивного матеріалу, але звичайно, особливо в тому випадку, коли контейнер повинен бути заритий глибоко під землею, контейнер виготовляють з утворенням конструкції всередині оболонки, призначеної для утримання радіоактивного матеріалу. Це може бути стальна конструкція або що-небудь подібне, що витримує тиск на глибині, при цьому вона звичайно призначена для паливних стрижнів, які в найбільш типовому випадку являють собою радіоактивний матеріал, що підлягає зберіганню.

При типовому процесі зберігання оболонку згідно з винаходом завантажують радіоактивним матеріалом через отвір, а кришку приварюють до отвору таким чином, що радіоактивний матеріал повністю знаходиться всередині контейнера. Звичайно протягом стадій завантаження і зварювання отвір звернений вгору, хоч це і не суттєво.

Загалом, оболонка має циліндричну форму, хоч можливі й інші поперечні перетини, наприклад, квадратний і тому подібне.

Деякі приклади способів згідно з даним винаходом далі будуть описані з посиланнями на прикладені креслення, на яких:

на фіг.1 представлено виготовлення циліндричної стінки оболонки;

на фіг.2 представлений торцевий стіновий елемент, приварений до циліндричної стінки;

на фіг.3 представлені кришка і оболонка згідно з фіг.2 безпосередньо перед зварюванням, і після завантаження радіоактивного матеріалу в контейнер;

на фіг.4 представлений вигляд, подібний вигляду на фіг.3, але який ілюструє інший приклад контейнера для радіоактивних відходів;

на фіг.5 графічно представлена зміна величини твердості по зварному з'єднанню;

на фіг.6а представлена макрофотографія поперечного перетину по зварному з'єднанню, показаному в якості приклада;

на фіг.6b і 6с більш детально представлені частини макрофотографії згідно з фіг.6а;

на фіг.6d представлений ескіз макрофотографії згідно з фіг.6а, на якому вказані різні зони зварного з'єднання;

на фіг.7а-7с з бічної сторони і з торця представлені приклади інструмента, призначеного для виконання зварювання тертям і що використовується в прикладах, показаних на фіг.1-4;

на фіг.8 представлені деталі конкретного інструмента, що використовується для виконання зварного з'єднання, показаного на фіг.6а, при цьому схема виконана не в масштабі, а приведені розміри вказані в мм.

На фіг.1 схематично представлені два напівциліндричних компоненти 1, 2 з міді або мідного сплаву, при цьому довжина кожного з них складає порядку 5м, а товщина знаходиться в діапазоні 30-60мм. Два компоненти укладають горизонтально один над одним, щоб утворити пару ліній 3, 4 з'єднання. Потім компоненти 1, 2 приварюють один до одного за допомогою підведення поворотного інструмента 5 для виконання зварювання тертям до відповідних ліній 3, 4 з'єднання і поступального переміщення інструмента вздовж лінії з'єднання так, як вказано стрілкою 6. Інструмент кріплять до привідного двигуна 7, який, в свою чергу, кріплять до поворотної платформи (не показана), яка забезпечує переміщення двигуна 7 і інструмента 5 в напрямі 6.

Після виконання щойно описаної зварювальної операції отримують циліндричну стінку, яка утворює основне тіло оболонки, стійкої до корозії. Потім один кінець оболонки закривають торцевою кришкою 8 з міді або мідного сплаву (фіг.2), товщина якої становить 30-60мм. Торцеву кришку 8 вводять по горизонталі в один торець циліндричної стінки з утворенням при цьому кільцевої лінії з'єднання 9 з циліндричною стінкою. Після цього кришку 8 приварюють до контейнера шляхом підведення інструмента 5 для зварювання тертям до лінії з'єднання 9 і його поступального переміщення навколо цієї лінії.

Після кріплення кришки 8 отримують оболонку з відкритим торцем, яку орієнтують по вертикалі, як показано на фіг.3, після чого через верхній отвір 11, що утворюється стінкою 12, в оболонку завантажують стальну опорну конструкцію 10. Стальна опорна конструкція 10 включає в себе ряд каналів 13, які йдуть в подовжньому напрямі, і в які через отвір 11 в безпечних умовах завантажують паливні стрижні 14, що відпрацювали. Простір, що залишається, може бути заповнений інертним газом, після чого отвір 11 закривають кришкою 15 з міді або мідного сплаву, товщина якої становить 30-60мм. Для того щоб розмістити кришку 15 в належному місці, стінка 12 скошена всередину так, як показано на фіг.3, при цьому відповідна зовнішня поверхня 16 кришки 15 має відповідний скіс. На фіг.3 компоненти представлені безпосередньо перед розміщенням кришки 15 на стінці 12. Після такого розміщення інструмент 5 для зварювання тертям підводять до лінії з'єднання, що утворюється поверхнями 12, 16, і переміщують навколо цієї лінії з'єднання таким чином, щоб за допомогою зварювання тертям приварити кришку 15 до іншої частини циліндричної оболонки.

В описаному прикладі інструмент 5 для зварювання тертям поступально переміщують вздовж лінії з'єднання, однак можливе альтернативне компонування, при якому інструмент утримують на одному місці (з поворотом навколо його осі), а переміщується сама лінія з'єднання. Також потрібно зазначити, що хоч всі з'єднання в цьому прикладі зварюють з використанням зварювання тертям, деякі із з'єднань, як згадувалося вище, можуть бути зварені за допомогою електронно-променевого зварювання.

На фіг.4 представлений другий приклад. У цьому прикладі дві напівциліндричні частини 1, 2 знову приварюють одна до одної так, як показано на фіг.1, але в цьому випадку елемент 20, що складає основу, має поперечний розмір, який виходить за внутрішній розмір циліндричної оболонки, тим самим утворюючи лінію з'єднання 21, за якою потім може бути виконане зварювання за допомогою зварювання тертям або електронно-променевого зварювання. Крім того, в цьому прикладі кришка 21, що має форму, подібну формі елемента 20, який складає основу, при цьому вона може бути приварена зварюванням тертям за лінією з'єднання 22. Можна сказати, що різні типи елементів згідно з фіг.3 і фіг.4, які утворюють кришку і основу, при необхідності можна поєднувати і змінювати місцями.

Для ілюстрації здійснення винаходу були виконані різні зварні з'єднання деталей з мідних сплавів, причому ці зварні з'єднання були перевірені і досліджені. На фіг.5 представлена зміна твердості зварного з'єднання, отриманого зварюванням тертям двох деталей з чистої міді, що володіє високою провідністю. Зона зварного з'єднання вказана на фіг.5 (порядку 25-75мм), причому можна бачити, що величина твердості (HV) за зварним з'єднанням фактично незмінна з обох сторін по відношенню до початкового матеріалу.

У другому прикладі були проведені випробування міцності звареного матеріалу на розтягнення. У цьому прикладі були досліджені мідні пластини товщиною 10мм, зварені за допомогою зварювання тертям, при цьому було встановлено, що міцність на розтягнення становить 224Н/мм^2 , що сприятливо в порівнянні з міцністю на розтягнення початкової пластини товщиною 10мм, яка становить 280Н/мм^2 . Крім того, встановлено, що така міцність на розтягнення постійна за довжиною зварного з'єднання.

Зварне з'єднання, отримане зварюванням тертям в різних випробуваних зразках, також було досліджене на мікроскопічному рівні для визначення розміру зерен. Один з прикладів показаний на фіг.6а, на якому представлена макрофотографія мідної пластини товщиною 25мм, привареної за допомогою зварювання тертям. Макрофотографія виразно показує чотири основних зони структури з різною зернистістю, які для ясності вказані на ескізі 6d. Зона X являє собою зону мідної пластини, на яку процес зварювання не вплинув. Зона 1 являє собою зону наданого теплового впливу, в якій тепло, утворене при зваренні, призвело до незначної модифікації зернистої структури. Зони 2, 3 і 5 являють собою зони термомеханічного впливу, в яких структура піддана пластичній деформації з перекристалізацією деяких областей. Нарешті, зона 4 являє собою зону динамічно рекристалізованого матеріалу.

Приклади зони 1 і рекристалізованої частини зони 2 показані з великим збільшенням на фіг. відповідно 6b і 6c. Порівняння ясно показує, як рекристалізація зернистої структури в зоні 2 приводить до збільшеного розміру зерен. Отримані таким чином зварні з'єднання демонструють розміри зерен порядку 80-600мкм, порівняння яких з переважними розмірами зерен порядку 180-360мкм вельми сприятливе. Ці значення потрібно порівнювати з тими значеннями, які звичайно отримують при використанні електронно-променевого зварювання і які можуть змінюватися від значень порядку 180-360мкм в початковій пластині до 4мм.

В якості зварювального інструмента 5 можуть бути використані різноманітні інструменти, деякі приклади яких представлені на фіг.7 і 8.

Кожний з інструментів, показаних на фіг.7 і 8, містить буртик 31 і палець 32 з лівосторонньою різьбовою нарізкою (для стандартного обертання інструмента за годинниковою стрілкою).

Інструмент, показаний на фіг.7а, має палець з овальним поперечним перетином, в той час як інструмент, показаний на фіг.7b, забезпечений протилежними лисками 34, з тим щоб утворити поперечний перетин у вигляді лопатки. На фіг.7c представлений варіант того, що показано на фіг.7b, але при цьому лиски 34 замінені увігнутостями 35. Інструмент, показаний на фіг.7d, подібний інструменту, показаному на фіг.7а, за винятком того, що різьбова нарізка має крок і кут, які послідовно змінюються.

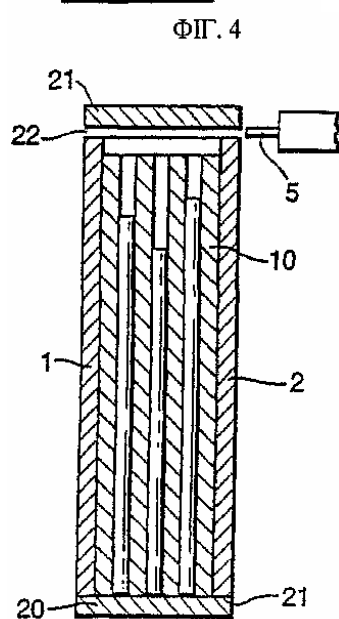
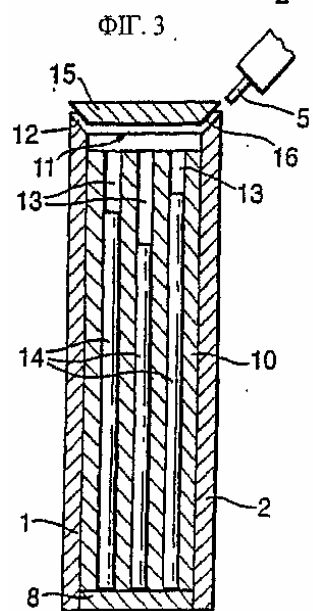
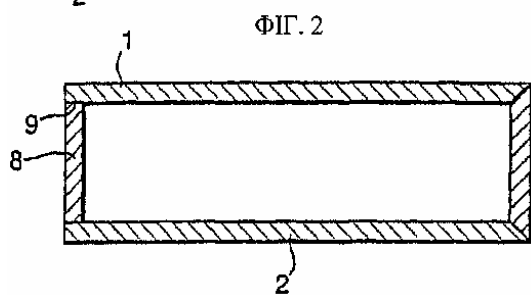
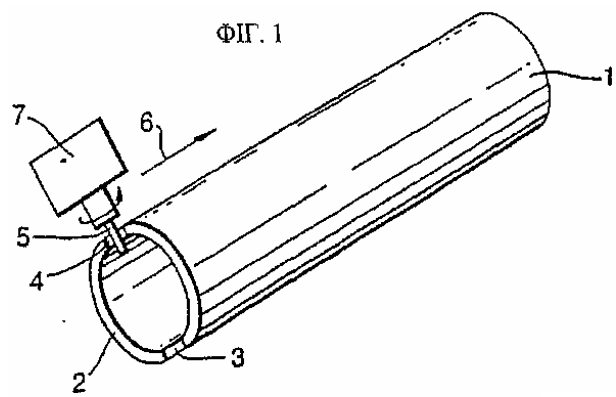
Інструмент, показаний на фіг.8, має пару лисок 33, виконаних на його бічних сторонах за допомогою механічної обробки. Однак поперечний перетин пальця 32 може бути круглим, овальним або з доданою площинністю, за рахунок чого робочий об'єм голівки менше його об'єму обертання, з тим щоб забезпечити більш легку течію пластифікованого матеріалу.

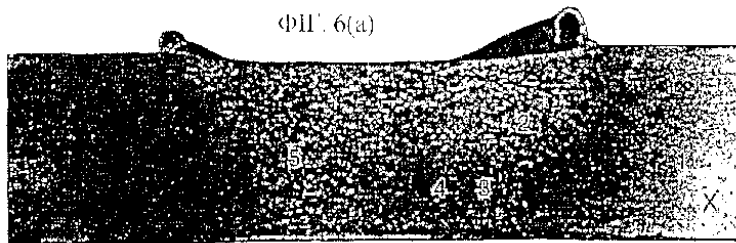
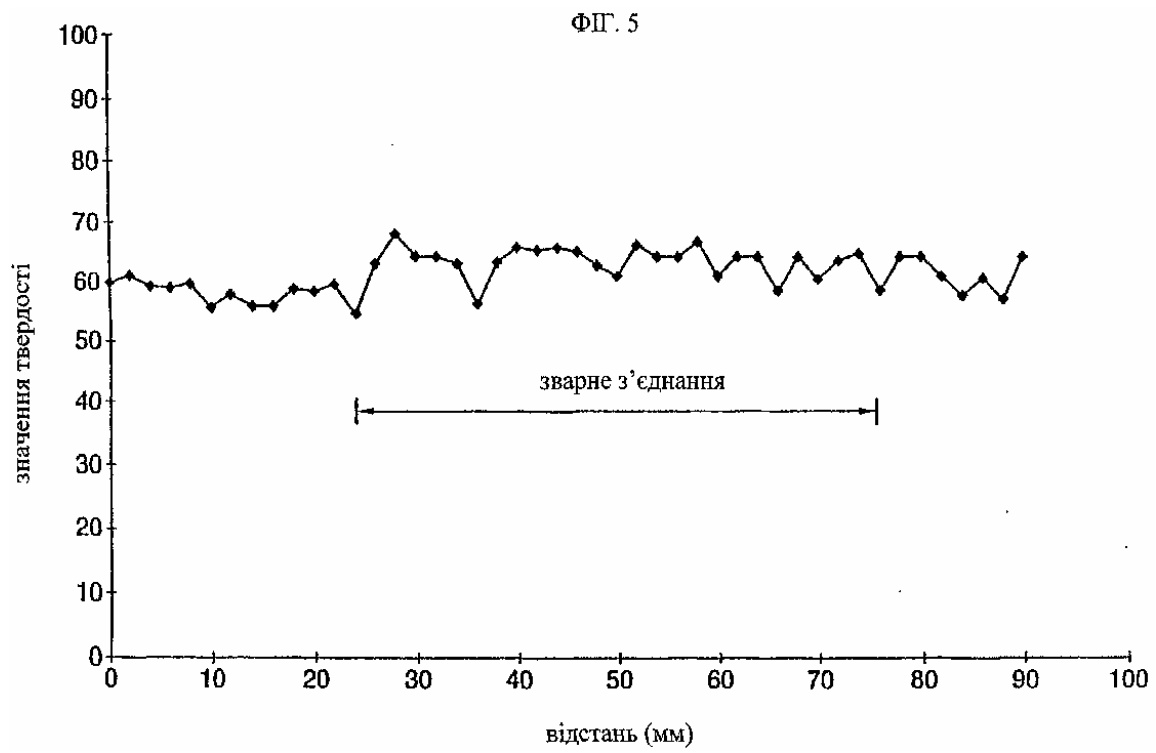
При виконанні операції об'єднання в одне ціле вузол з пальця 32 і буртика 31 повертається і занурюється в з'єднання між деталями, що піддаються обробці, доти, поки буртик 31 не впровадиться в поверхню деталей, що обробляються. Коли спочатку відбувається занурення пальця 32, суміжний з ним метал нагрівається за рахунок тертя, як і невелика зона під кінчиком пальця 32. Глибина проникнення контролюється інструментом за допомогою довжини пальця 32 нижче буртика 31.

Як тільки відбувається зіткнення з верхньою поверхнею основи, буртик підводить до зони зварювання додаткове тепло, що створюється тертям. Крім того, контактуючий буртик 31, якому за допомогою механічної обробки можна додати різноманітний профіль для забезпечення поліпшеного зчеплення, сприяє запобіганню виходу сильно пластифікованого матеріалу із зони зварювання.

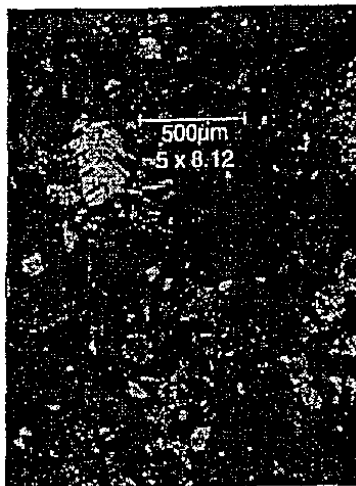
Коли поворотний інструмент 31, 32 повністю навантажений, термомеханічно розм'якшений матеріал приймає форму, відповідну габаритній геометрії інструмента. Зона, яка піддається впливу тепла, ширше у верхній поверхні, де вона знаходиться в контакті з буртиком 31, і вужчає із збільшенням діаметра пальця 32.

Комбінований нагрів від пальця 32 і буртика 31, який забезпечується за рахунок тертя, створює стан сильно пластифікованого "третього тіла" навколо навантаженої голівки і у поверхні деталей, які обробляються. Пластифікований матеріал створює деяку гідростатичну дію, коли поворотний інструмент переміщується вздовж з'єднання, сприяючи течії пластифікованого матеріалу навколо інструмента. Коли інструмент віддаляється, відбувається зрощення пластифікованого зварного матеріалу позаду інструмента.

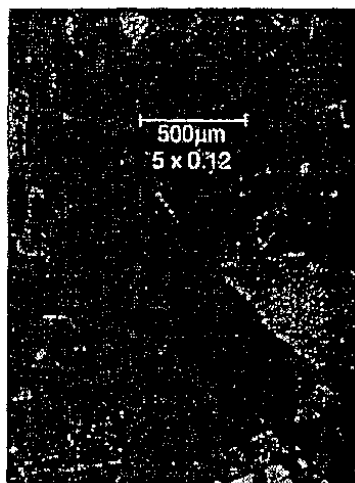




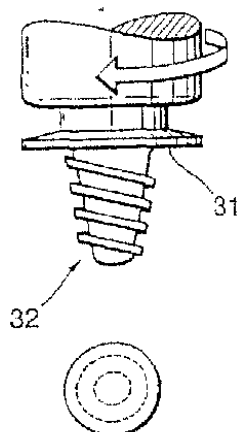
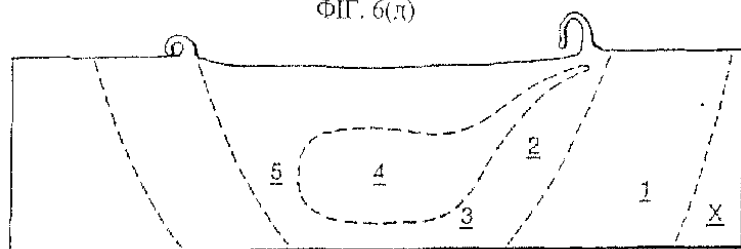
ФП. 6(б)



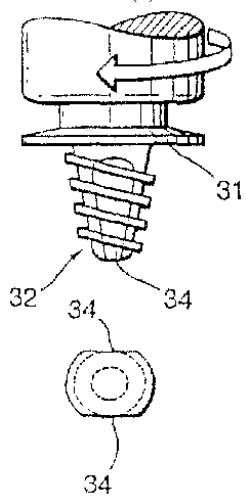
Фиг. 6(с)



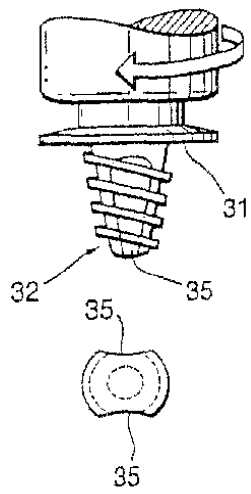
Фиг. 6(π)



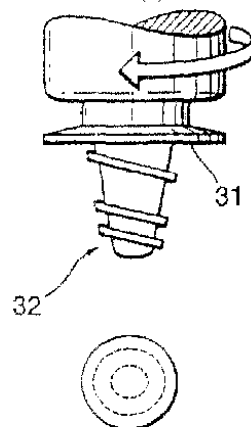
Фиг. 7(а)



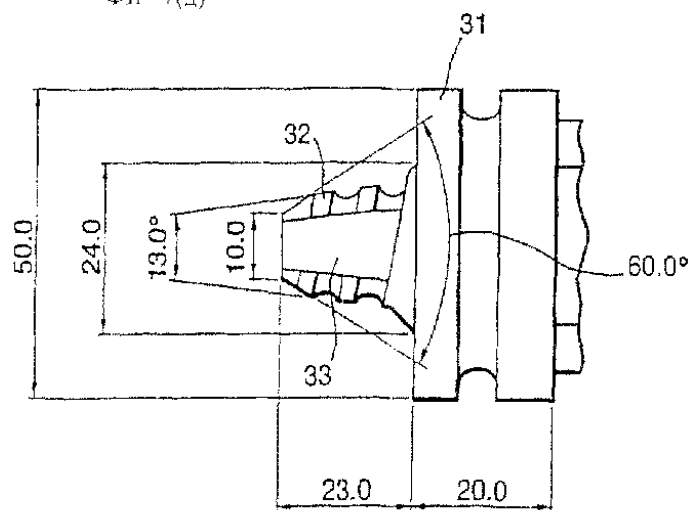
Фиг. 7(б)



Фиг. 7(с)



Фиг. 7(д)



Фиг. 8