



УКРАЇНА

(19) UA (11) 96256 (13) C2

(51) МПК (2011.01)

F16L 9/16 (2006.01)

F16L 9/16 (2006.01)

F16L 9/04 (2006.01)

F16L 9/04 (2006.01)

F16L 25/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

### (54) ТРУБЧАСТИЙ ВИРІБ ТА СПОСІБ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

1

2

(21) а200701057

(22) 04.07.2005

(24) 25.10.2011

(86) PCT/GB2005/050101, 04.07.2005

(31) 0414837.5

(32) 02.07.2004

(33) GB

(46) 25.10.2011, Бюл.№ 20, 2011 р.

(72) БУТ ДЖОН ПІТЕР, GB, ЛОУВІС ГОРДОН ДЕ-ВІД, GB

(73) АЙТІАЙ СКОТЛАНД ЛІМІТЕД, GB

(56) US 5117874, 02.06.1992

US 3880195, 29.04.1975

GB 2280889 A, 15.02.1995

US 5730188, 24.03.1998

WO 00/28249 A1, 18.05.2000

DE 854608, 06.11.1952

US 4823847, 25.04.1989

US 3530567, 29.09.1970

US 4657049, 14.04.1987

GB 2107814 A, 05.05.1983

US 1365306, 11.01.1921

US 1091759, 31.03.1914

DE 4210978 A1, 07.10.1993

WO 02/04856 A1, 17.01.2002

US 4033612, 05.07.1977

(57) 1. Трубчастий виріб, який містить внутрішню порожнисту трубчасту сердцевину та зовнішню оболонку, яка містить одну або більше стрічок спірално намотаного матеріалу з механічним взаємним зчепленням і взаємним перекриттям, що має більш високу межу текучості, ніж матеріал внутрішньої сердцевини, в якому стрічка включає заглиблення і підвищення, які взаємодіють одне з одним в послідовних витках, причому зовнішня оболонка та сердцевина виконані так, що зовнішня оболонка має можливість створення стискального зусилля на сердцевину, після того як сердцевина піддається впливу внутрішнього тиску, достатнього для пластичної деформації матеріалу цієї сердцевини.

2. Трубчастий виріб за п. 1, в якому сердцевина являє собою трубчасту конструкцію, виготовлену безперервним процесом формоутворення.

3. Трубчастий виріб за п. 1, в якому внутрішня поверхня зовнішньої оболонки виконана з безперервним контактом із зовнішньою поверхнею сердцевини.

4. Трубчастий виріб за п. 1, який забезпечений захисною оболонкою із зовнішньої сторони зовнішньої оболонки.

5. Трубчастий виріб за п. 1, в якому стрічка в поперечному перерізі має сходинок, в якій при кожному витку розміщена перекриваюча частина наступного витка.

6. Трубчастий виріб за п. 1, в якому стрічка має на одному краю виступ, що подовжньо проходить, а на іншому краю - канавку, що подовжньо проходить, в якій в кожному витку стрічки розміщується сусідній край.

7. Трубчастий виріб за п. 1, в якому стрічка має фаску з кожного краю, в якій в кожному витку цієї стрічки розміщується перекриваюча частина наступного витка.

8. Трубчастий виріб за п. 1, в якому зовнішня оболонка виконана з металу.

9. Трубчастий виріб за п. 1, в якому матеріал зовнішньої оболонки вибирають з групи, яка містить або складається зі: сталі, нержавіючої сталі, титану або алюмінію.

10. Трубчастий виріб за п. 1, в якому стрічка містить матеріал Martinsite.

11. Трубчастий виріб за п. 1, в якому матеріал сердцевини містить корозійностійкий матеріал.

12. Трубчастий виріб за п. 1, в якому матеріал сердцевини містить нержавіючу сталь.

13. Трубчастий виріб за п. 1, в якому матеріал сердцевини містить нержавіючу сталь 316L.

14. Трубчастий виріб за п. 1, в якому сердцевина містить металеву трубу, одержану шляхом профілювання листового металу на роликовій листозгінальній машині з подальшим роликовим шовним зварюванням.

(13) C2

(11) 96256

(19) UA

15. Трубочастий виріб за п. 1, в якому заглиблення являє собою заглиблення, що подовжно проходить, виконане з одної сторони стрічки, а підвищення являє собою підвищення, що подовжно проходить, виконане з протилежної сторони цієї стрічки.

16. Трубочастий виріб за п. 1, в якому стрічка має два краї, один з яких довший за інший.

17. Трубочастий виріб за п. 1, який додатково містить клеючий шар між внутрішньою серцевиною та зовнішньою оболонкою.

18. Трубочастий виріб за п. 1, який додатково містить клеючий шар між частинами зовнішньої оболонки, які перекриваються.

19. Трубочастий виріб за п. 17 або 18, в якому клеючий шар являє собою стрічку клею, нанесену на серцевину або стрічку.

20. Трубочастий виріб за п. 17 або 18, в якому клей або клеї містять отверджуваний полімер.

21. Трубочастий виріб за п. 17 або 18, в якому клей містить епоксидну смолу на основі однокомпонентної плівки, що має текстильну основу.

22. Трубочастий виріб за п. 17 або 18, в якому клей містить Cytec FM8210-1.

23. Трубочастий виріб за п. 1, який має кінець і додатково містить з'єднувач, розташований на цьому кінці.

24. Трубочастий виріб за п. 23, в якому з'єднувач включає кільце з корозійностійкого матеріалу, серцевина містить корозійностійкий матеріал, причому кільце і серцевина приварені одне до одного.

25. Трубочастий виріб за п. 23, який містить спіральні виступи, і з'єднувач включає відповідні канавки для зчеплення зі спіральними виступами.

26. Трубочастий виріб за п. 1, який виготовлений у вигляді елемента, вибраного з наступного списку: пілон, башта, опорний важіль, привідний вал і підводна рухома водовідвідна колона.

27. Трубочастий виріб за п. 17 або 18, в якому клей має антибактерійні властивості або властивості стійкості до випромінювання.

28. Трубочастий виріб за п. 1, в якому стрічка виконана зі скошеними краями, форма яких забезпечує розміщення сходинки в цій стрічці.

29. Трубочастий виріб за п. 1, в якому заглиблення і підвищення включають плоскі контактні поверхні, розташовані одна проти одної.

30. Трубочастий виріб за п. 1, в якому заглиблення містить розташовані одна проти одної похилі поверхні, а підвищення містить відповідні поверхні для входження в контакт з розташованими одна проти одної поверхнями заглиблення.

31. Трубочастий виріб за п. 30, в якому розташовані одна проти одної поверхні утворюють зуб пилки.

32. Трубочастий виріб за п. 30, в якому розташовані одна проти одної поверхні перпендикулярні подовжній осі трубочастого елемента.

33. Спосіб виготовлення трубочастого виробу за п. 1, який включає етап намотування стрічки на серцевину з механічним взаємним зчепленням і взаємним перекриттям для одержання зовнішньої оболонки, що оточує серцевину.

34. Спосіб за п. 33, в якому стрічку з матеріалу намотують на серцевину таким чином, щоб вона

знаходилася в безперервному контакті або майже безперервному контакті з серцевиною.

35. Спосіб за п. 33, який включає етап, на якому створюють стрічку, що має сходинку в поперечному перерізі, і намотують стрічку на серцевину таким чином, що кожний виток стрічки приймає перекриваючу частину наступного витка цієї стрічки.

36. Спосіб за п. 33, який включає етап, на якому серцевину одержують шляхом профілювання стрічки металу на роликівій листозгинальній машині і роликівого шовного зварювання стрічки вздовж протилежних країв для одержання металевої труби.

37. Спосіб за п. 33, який включає етап, на якому створюють заглиблення і підвищення на стрічці і намотують стрічку на серцевину таким чином, щоб заглиблення або підвищення приходили в контакт з відповідним заглибленням або підвищенням на іншій частині стрічки, яка є сусідньою.

38. Спосіб за п. 33, який включає етап, на якому створюють заглиблення і підвищення у вигляді заглиблення, що подовжно проходить, з одного боку стрічки і підвищення, що подовжно проходить, з протилежного боку цієї стрічки.

39. Спосіб за п. 33, який включає етап, на якому створюють стрічку, один край якої довший за інший.

40. Спосіб за п. 33, який включає етап, на якому наносять клеючий шар між внутрішньою серцевиною та зовнішньою оболонкою.

41. Спосіб за п. 33, який включає етап, на якому наносять клеючий шар між частинами стрічки, що перекриваються, утворюючи зовнішню оболонку.

42. Спосіб за п. 40 або 41, який включає етап, на якому клей у вигляді клеючої стрічки наносять на стрічку перед її обмотуванням подальшим шаром цієї самої стрічки.

43. Спосіб за п. 40 або 41, який включає етап, на якому наносять клей на стрічку перед її намотуванням на серцевину.

44. Спосіб за п. 33, який включає додатковий етап, на якому наносять антикорозійне покриття на зовнішню сторону зовнішньої оболонки.

45. Спосіб за п. 44, який включає етап, на якому антикорозійне покриття наносять у вигляді пластичного матеріалу, спіралью намотаного на виріб.

46. Спосіб за п. 33, який включає етап, на якому одержаний трубочастий виріб піддають впливу внутрішнього тиску, достатнього, щоб викликати пружну деформацію матеріалу серцевини і пластичну деформацію зовнішньої оболонки.

47. Спосіб за п. 33, який включає етап, на якому внутрішню серцевину забезпечують у вигляді вже існуючого трубопроводу.

48. Спосіб за п. 33, який включає етап, на якому розміщують торцевий з'єднувач на кінці або на кожному з кінців готового трубочастого виробу для можливості з'єднання виробу з іншим кінцевим з'єднувачем або конструкцією.

49. Спосіб за п. 48, який включає етапи, на яких встановлюють кільце з матеріалу, сумісного з матеріалом внутрішньої серцевини, у виїмку в торцевому з'єднувачі і приварюють внутрішню серцевину до згаданого кільця на кінці серцевини.

Даний винахід відноситься до трубчастих виробів та способів їх виготовлення, і зокрема, але не виключно до виробництва труб, призначених для використання в трубопровідних системах, таких як трубопроводи для транспортування природного газу або нафтопродуктів під тиском. Інші види трубчастих виробів, таких як пілони, башти, опорні важелі тощо також можуть бути виготовлені згідно з винаходом.

Відомо, що природний газ і нафтопродукти, які видобуваються в останні роки або зберігаються в резерві для подальшого видобування, містять діоксид вуглецю і сульфід водню. Крім того, відомо, що при звичайних робочих характеристиках тиску, трубопроводи, що виготовлені із звичайних матеріалів і транспортують такі продукти, особливо можуть бути схильні до пошкодження через корозійне розтріскування. Такі пошкодження часто призводять в результаті до катастрофічних подовжніх тріщин в трубах трубопроводів.

Попередні спроби знизити ризик таких пошкоджень включали використання інгібіторів корозії, що додаються до продуктів, які транспортуються трубопроводами. На жаль це призводить до неприйнятних витрат, що включають не тільки вартість інгібіторів і додавання їх до продуктів, але також і вартість видалення і витягнення цих інгібіторів належним чином з продуктів, які транспортуються по трубопроводах. Використання інгібіторів корозії також не рекомендується, зокрема, в морських трубопроводах, через проблеми з навколишнім середовищем, які виникають при витокі інгібіторів корозії з таких трубопроводів.

Запропоновані альтернативні способи зниження ризику корозійного розтріскування в трубах, за рахунок зменшення розтяжних напружень в тій частині труб, яка контактує з продуктами, які транспортуються. Ці способи включають використання труб, які складаються, наприклад, з двох трубчастих елементів, встановлених один в один, при цьому на подальшому етапі виготовлення внутрішню трубу механічно із зусиллям встановлюють у зовнішній трубі, внаслідок чого у внутрішній трубі після завершення цієї операції виникають стискальні напруження, а у зовнішній трубі розтяжні напруження. Цей процес відомий як "нагартування" і один з варіантів виконання цієї механічної операції описаний в патенті США № 4823847. Очевидно, що такі дві труби повинні бути виготовлені з дуже жорсткими допусками, щоб була можливість вставити одну в одну і виконати етап нагартування без пошкодження внутрішньої труби. Також очевидно, що дану операцію нагартування можна використувати тільки для невеликих відрізків труби і її недоліком є тривале виконання і зумовлена цим висока вартість. Ще одним недоліком виготовлення трубопроводу з таких невеликих відрізків труби, в типовому випадку від 8 до 10 метрів, є наявність численних з'єднань, які самі по собі служать зонами неміцності в трубопроводі.

Трубчасті вироби іншого типу також відомі з патенту США № 4657049, в якому описано, що

металеві стрічки спірально намотуються з перекриттям і занурюються в клеючу зв'язку для одержання жорсткого трубчастого виробу. У патенті США № 3530567 описаний спосіб виготовлення труби шляхом спірального намотування металеві стрічки з перекриттям, внаслідок чого товщина стінки труби в будь-якому місці утворена множиною витків. Для видалення виступів, які йдуть по спіралі, у внутрішньому каналі труби, утворених краями стрічки, витки матеріалу стрічки згладжують один відносно одного після намотування, витягуючи трубчастий виріб вище межі текучості матеріалу металевих стрічок. Така процедура викликає значні виробничі труднощі.

У документі GB2280889 описаний спосіб виготовлення порожнистого подовженого або трубчастого виробу, який містить спіральну намотку щонайменше однієї стрічки матеріалу з перекриттям, щоб одержати багат шаровий трубчастий виріб. При цьому стрічку заздалегідь обробляють тиском, щоб одержати поперечний переріз, де є щонайменше одна сходинка, в якій при кожному витку стрічки розміщується перекриваюча частина наступного витка. У результаті з однієї стрічки матеріалу можна одержати в безперервному режимі трубчастий виріб, товщина стінки якого утворена множиною напусків, при цьому товщина в загальному випадку на одну товщину стрічки перевищує кількість сходинок, утворених в поперечному перерізі стрічки.

Описаний вище виріб може бути забезпечений внутрішнім або зовнішнім облицюванням, вид якого буде залежати від сфери застосування трубчастого виробу, і може містити армовану волокном основу, на яку намотана нитка. При виготовленні такого трубчастого виробу внутрішнє облицювання може бути заздалегідь оброблене тиском, щоб одержати оправку, на яку по спіралі намотується армуюча серцевина. Як альтернатива, внутрішнє облицювання може бути виготовлене за допомогою намотування армуючих волокон або тканини, що просочені полімером, на прийнятну оправку з подальшим намотуванням на це облицювання сталеві стрічки, що має ступінчастий переріз, щоб одержати армуючу серцевину, після чого виконується намотування необхідних армуючих волокон або тканини, що просочені полімером, як зовнішнє облицювання. Однак, за допомогою такого процесу можна виготовити тільки окремі відрізки труби, і цей процес не придатний для використання "нагартування".

У цей час максимальний тиск для таких труб обмежений вартісними характеристиками матеріалів, що використовуються, і вагою готового виробу, який повинен транспортуватися і встановлюватися у визначене положення часто в різних умовах. Найбільш широко поширена конструкція труби, що використовується при транспортуванні газу, містить сталь марки X65 (мінімальна межа текучості - 65000 фунт/кв. дюйм), але навіть цей стандарт не може відповідати новітнім вимогам до межі текучості, які становлять 120000 фунт/кв.

дуюм. Хоча, як очевидно, можна збільшити товщину і поліпшити характеристики стінки труби, це тільки підвищить її вартість і вагу, а також складність встановлення. У доповнення до цього такі вироби повинні зварюватися за периметром, що є важко досяжним і дорого коштує. Таким чином, існує потреба в трубі з високими характеристиками, яка є як міцною, так і легкою, при цьому її виробництво економічно ефективне і забезпечується відносна легкість її встановлення і транспортування.

Задачею даного винаходу є створення трубчастого виробу і способу його виготовлення, які забезпечують зниження ризику корозійного розтріскування і усунення одного або більше з інших згаданих вище недоліків відомих виробів та способів їх виготовлення.

Суть винаходу

Згідно з першим варіантом даного винаходу, забезпечується трубчастий виріб, що має внутрішню порожнисту трубчасту серцевину і зовнішню оболонку, причому зовнішня оболонка містить одну або більше стрічок спіралью намотаного матеріалу з механічним взаємним зчепленням, який має більш високу межу текучості, ніж внутрішня серцевина.

Згідно з наступним варіантом даного винаходу забезпечується трубчастий виріб, що має внутрішню трубчасту серцевину і зовнішню оболонку, причому зовнішня оболонка містить одну або більше стрічок з матеріалу, намотаного по спіралі з перекриттям, а серцевина являє собою трубчасту конструкцію, виготовлену безперервним процесом формування.

У переважному варіанті внутрішня поверхня зовнішньої оболонки виконана із суцільним контактом із зовнішньою поверхнею серцевини, щоб забезпечувати стискальні зусилля на серцевину, після того як серцевина зазнавала впливу внутрішнього тиску, достатнього для пластичної деформації матеріалу цієї серцевини.

Якщо необхідно забезпечити додатковий захист від навколишнього середовища, трубчастий виріб може бути забезпечений захисною оболонкою із зовнішньої сторони зовнішньої оболонки.

У переважному варіанті стрічка в поперечному перерізі має сходинок, в якій при кожному витку розміщена перекриваюча частина наступного витка. Як альтернатива, стрічка може мати на одному краю виступ, що подовжньо проходить, а на іншому краю - канавку, що подовжньо проходить, яка в кожному витку стрічки приймає сусідній край. У наступному варіанті стрічка може мати фаску з кожного краю, яка в кожному витку цієї стрічки буде приймати перекриваючу частину наступного витка.

У переважному варіанті зовнішня оболонка виконана з металу, наприклад, сталі, нержавіючої сталі, титану або алюмінію, але переважно виконана з матеріалу Martinsite.

Для деяких сфер застосування трубчаста серцевина трубчастого виробу як перевага виготовлена з корозійностійкого матеріалу, наприклад, нержавіючої сталі, яка може являти собою нержавіючу сталь марки 316L.

У варіанті, особливо придатному для безперервного виробництва, трубчастий виріб може являти собою металеву трубу, одержану шляхом профілювання листового металу на роликовій листозгинальній машині з подальшим роликовим шовним зварюванням. Як альтернатива, серцевина може бути виготовлена з однієї або більше стрічок матеріалу, намотаного по спіралі з перекриттям.

В одному з варіантів механічний взаємозв'язок може бути забезпечений у вигляді виконаних шляхом попередньої обробки тиском заглиблень і підвищень, які взаємодіють одне з одним в послідовних витках. У переважному варіанті заглиблення являє собою заглиблення, що подовжньо проходить, виконане з одного боку стрічки, а підвищення являє собою підвищення, що подовжньо проходить, виконане з протилежної сторони цієї стрічки. Ці елементи входять в контакт один з одним, забезпечуючи один з видів механічного взаємного зчеплення, яке може бути використане окремо або в комбінації з іншими видами описаних тут взаємних зчеплень.

Як перевага стрічка має два краї, один з яких довший за інший.

Механічний взаємозв'язок може бути забезпечений у вигляді клеючого шару між внутрішньою серцевиною і зовнішньою оболонкою і/або клеючого шару між частинами зовнішньої оболонки, які перекриваються. Для зручності клеючий шар може являти собою стрічку клею, нанесену на серцевину або стрічку, і може являти собою отверджуваний полімер, який може містити епоксидну смолу на основі однокомпонентної плівки, наприклад, Cytec FM8210-1, яка може для зручності мати текстильну основу. Цей клей може використовуватися в комбінації з описаним тут будь-яким іншим типом механічного взаємозв'язку.

У ще одному варіанті даного винаходу трубчастий виріб має кінець і додатково містить з'єднувач, розташований на цьому кінці. Цей з'єднувач може включати кільце з корозійностійкого матеріалу, серцевина може містити корозійностійкий матеріал, і кільце і серцевина можуть бути приварені одне до одного. З метою зручності і встановлення на трубчастому виробі можуть бути виконані спіральні виступи, і з'єднувач може включати відповідні канавки для зчеплення зі спіральними виступами.

Згідно з додатковим варіантом даного винаходу забезпечується спосіб виготовлення трубчастого виробу, що містить наступні етапи: забезпечення порожнистої трубчастої серцевини, що має перше значення межі текучості; забезпечення стрічки з матеріалу, що має друге значення межі текучості, яка перевищує перше значення; і намотування стрічки на серцевину по спіралі з перекриттям, щоб одержати зовнішню оболонку, оточуючу серцевину.

Згідно з альтернативним варіантом забезпечується спосіб виготовлення трубчастого виробу, який містить трубчасту серцевину і зовнішню оболонку, що містить наступні етапи: забезпечення внутрішньої стрічки з матеріалу для створення осердя; забезпечення другої стрічки з матеріалу

для створення зовнішньої оболонки; прокатування внутрішньої стрічки вздовж її подовжньої осі і зварювання за допомогою роликового шовного зварювання її протилежних країв для одержання трубчастості серцевини; і намотування зовнішньої стрічки на серцевину із забезпеченням механічного взаємного зчеплення для одержання зовнішньої оболонки, яка оточує серцевину.

Згідно з іншим варіантом даного винаходу забезпечується спосіб виготовлення трубчастого виробу, який містить трубчасту серцевину і зовнішню оболонку, який містить наступні етапи: забезпечення внутрішньої стрічки з матеріалу для створення осердя; забезпечення другої стрічки з матеріалу для створення зовнішньої оболонки; прокатування внутрішньої стрічки вздовж її подовжньої осі і зварювання за допомогою роликового шовного зварювання її протилежних країв для одержання трубчастості серцевини; і намотування зовнішньої стрічки на серцевину по спіралі із забезпеченням перекриття для одержання зовнішньої оболонки, яка оточує серцевину.

Згідно з ще одним варіантом даного винаходу забезпечується спосіб модернізації трубчастого виробу, який містить наступні етапи: забезпечення зовнішньої стрічки з матеріалу для створення зовнішньої оболонки; і намотування стрічки на серцевину по спіралі із забезпеченням перекриття для одержання зовнішньої оболонки, яка оточує серцевину.

Згідно з наступним варіантом даного винаходу забезпечується спосіб модернізації трубчастого виробу, який містить наступні етапи: забезпечення зовнішньої стрічки з матеріалу для створення зовнішньої оболонки, і намотування стрічки на серцевину по спіралі із забезпеченням перекриття для одержання зовнішньої оболонки, яка оточує серцевину.

У переважному варіанті даний спосіб включає етап, на якому забезпечують зовнішню стрічку з матеріалу з межею текучості, яка перевищує межу текучості серцевини.

Як перевага згадану стрічку з матеріалу намотують на серцевину таким чином, щоб вона знаходилася в безперервному контакті або майже безперервному контакті з серцевиною.

У переважному варіанті спосіб включає етап, на якому забезпечують стрічку, яка має сходинку в поперечному перерізі, і намотують стрічку на серцевину таким чином, що кожний виток стрічки приймає перекриваючу частину наступного витка цієї стрічки.

У способі, який можна використати для безперервного виробництва трубчастого виробу, серцевина може бути одержана шляхом профілювання стрічки металу на роликовій листозгинальній машині і роликового шовного зварювання стрічки вздовж протилежних країв для одержання металевий труби.

Як перевага спосіб може включати етап, на якому виконують заглиблення і підвищення на стрічці і намотують стрічку на серцевину таким чином, щоб заглиблення або підвищення контактували з відповідним заглибленням або підвищенням на іншій частині стрічки, яка є сусідньою. Може

бути виготовлена стрічка, один край якої довший за інший, щоб забезпечити притиснення певною мірою стрічки до серцевини, і включає подальший етап, на якому наносять клеючий шар між внутрішньою серцевиною та зовнішньою оболонкою, щоб забезпечити визначений ступінь механічного взаємозв'язку. Ступінь механічного взаємозв'язку може бути посилений за рахунок виконання додаткового етапу, на якому наносять клеючий шар між частинами стрічки, що перекриваються, які утворюють зовнішню оболонку. Спосіб може включати етап, на якому клей у вигляді клеючої стрічки наносять на стрічку перед її обмотуванням подальшим шаром цієї самої стрічки. Для зручності спосіб може включати етап, на якому наносять клей на стрічку перед її намотуванням на серцевину, і може додатково включати етап, на якому наносять антикорозійне покриття на зовнішню сторону зовнішньої оболонки. Для зручності антикорозійне покриття може бути у вигляді пластичного матеріалу, спіралью намотаного на виріб.

Для виконання нагартування трубчастого виробу спосіб в переважному випадку включає етап, на якому одержаний трубчастий виріб піддають впливу внутрішнього тиску, достатнього, щоб викликати пластичну деформацію матеріалу серцевини і пружну деформацію зовнішньої оболонки.

Може виявитися необхідним виконувати внутрішню серцевину у вигляді вже існуючого трубопроводу.

Як перевага спосіб може включати етап, на якому розмішують торцевий з'єднувач на кінці або на кожному з кінців готового трубчастого виробу для можливості з'єднання виробу з іншим торцевим з'єднувачем або конструкцією, при цьому торцевий з'єднувач може бути забезпечений виїмкою для встановлення кільця, яке потім може бути приварене до внутрішньої серцевини.

Згідно з наступним варіантом даного винаходу забезпечується торцевий з'єднувач, який містить корпус, в якому виконаний канал щонайменше з однією канавкою, що спіралью проходить, яка відповідає піднесенню на відповідній трубі, до якої він повинен бути приєднаний. Як перевага з'єднувач включає фланець для його з'єднання з іншим виробом. Для легкості складання канал з'єднувача може бути виконаний конічної форми, і з'єднувач може бути забезпечений одним або більше отворами, що проходять від його зовнішньої поверхні до внутрішнього каналу для прийому клею, що використовується для прикріплення цього з'єднувача до відповідної труби, з якою він повинен бути з'єднаний. У переважному варіанті в торцевому з'єднувачі виконана виїмка на одному кінці каналу для встановлення кільця з матеріалу, сумісного з матеріалом серцевини, до якої це кільце приєднується. При складанні з'єднувач і труба утворюють вузол трубчастого виробу, який може використовуватися як труба або будь-яка з описаних тут конструкцій.

Модифікації описаних вище конструкцій очевидні самі по собі, і зокрема, можна використати варіант, в якому стрічка виконана зі скошеними краями, форма яких дозволяє розмістити сходинку в цій стрічці, а заглиблення і підвищення, можуть

включати плоскі контактні поверхні, розташовані одна проти одної. Якщо говорити більш детально, заглиблення може містити розташовані одна проти одної похилі поверхні, а підвищення може містити відповідні поверхні для входження в контакт з розташованими одна проти одної поверхнями заглиблення. Для зручності розташовані одна проти одної поверхні утворюють зуб пилки. Як альтернатива розташовані одна проти одної поверхні можуть бути перпендикулярні подовжній осі трубчастого виробу.

Описана і заявлена тут технологія одержання шаруватого матеріалу із сталевих стрічок (SSL) забезпечує для енергетичної промисловості потенційно нові способи будівництва дешевих трубопроводів для наземних і морських магістралей транспортування нафти та газу, працюючих в корозійному середовищі. Тести на розрив під дією внутрішнього тиску показали, що виріб Helipipe™ діаметром 160 мм, який містить вкладиш товщиною 1 мм з нержавіючої сталі 316L і зовнішній армуючий шар з двох шарів матеріалу Martinsite товщиною 0,5 мм, намотаного з перекриттям, розривається при 235 Бар надмірного тиску, що достатньо для відповідності і перевищення характеристик труби X200. Докладний аналіз методом кінцевих елементів для композитної труби, який був виконаний компанією AEA Technology, Харвелл, підтвердили, що результати тесту на розрив знаходилися в межах 2 % від теоретичного тиску розриву і показали, що виріб Helipipe буде на дві третини легше і в три рази більш гнучким, ніж еквівалентна труба із сталі X65. Економічні дослідження, проведені компаніями Halliburton Subsea 7 і Advanced Engineering Solution, показали, що виріб Helipipe в середньому на 40 % дешевше, ніж звичайний трубопровід із сталі X65.

Короткий опис креслень

Далі, тільки як приклад будуть описані переважні варіанти здійснення даного винаходу з посиленням на супроводжуючі креслення, з яких:

Фіг.1 - схематичний вигляд збоку частини трубчастого виробу з частковим вирином;

Фіг.2 - схематичний вигляд збоку частини трубчастого виробу, що має альтернативну зовнішню оболонку з частковим вирином;

Фіг.3 - вигляд збоку частини з'єднувача, що використовується з трубчастим виробом, зовнішня оболонка якого показана на фіг.2;

Фіг.4 - графік "напруження-деформація" для трубчастого виробу;

Фіг.5 - графік "напруження-деформація" для трубчастого виробу під час циклу обробки тиском;

Фіг.6 - графік "напруження-деформація" для ряду альтернативних матеріалів, які можна використовувати в трубчастому виробі, що відповідає даному винаходу;

Фіг.7-9 поперечні перерізи альтернативних типів механічного блокування в конструкції труби, що пропонується;

Фіг.10 та фіг.11 - поперечні перерізи зовнішньої оболонки, що ілюструють механізм блокування; і

Фіг.12 та фіг.13 - поперечні перерізи частини зовнішньої оболонки альтернативної конструкції.

Докладний опис переважного варіанту здійснення

Як показано на фіг.1, трубчастий виріб, позначений загалом позицією 10 та утворюючий трубу, що використовується в трубопровідній системі, наприклад, в трубопроводі, що транспортує природний газ або нафтопродукти під тиском, містить сердцевину у вигляді внутрішньої труби 12, яка може бути виготовлена одним з ряду процесів формоутворення. При використанні переважного процесу трубчастий виріб 10 містить металеву трубу, виготовлену шляхом профілювання листового металу на роликовій листозгинальній машині і зварювання протилежних країв з одержанням труби. Як альтернатива, труба може бути суцільнотягнутою з металу або пластичного матеріалу. При виготовленні з металу може виявитися необхідним використати в якості такого металу корозійностійкий матеріал, наприклад, нержавіючі сталі і титанові сплави, якщо перераховувати усього лише два прийнятних матеріали. Зовнішня оболонка, позначена загалом позицією 14, утворена на внутрішній металевій трубі 12 шляхом намотування по спіралі стрічки 16 на зовнішню поверхню 12а труби з перекриттям, по такій схемі, яка детально описана для виготовлення труби на оправці в патенті Великобританії № 2280889 та патенті США № 5837083, що належать заявникам. У представленій конструкції трубчастий виріб 10 може при необхідності бути виготовлений в безперервному процесі виробництва за допомогою описаних вище технологій або будь-якої прийнятої альтернативи. Стрічка 16 має в поперечному перерізі одну або більше сходинок 18 та 20, кожна з яких в переважному варіанті має глибину, відповідну товщині стрічки 16. Сходинки 18 та 20 в переважному варіанті виконані в стрічці 16 за допомогою попередньої обробки тиском, і кожна з них проходить від одного кінця стрічки 16 до іншого, щоб полегшити операцію нецентрованого намотування з перекриттям, при якій кожний виток стрічки приймає перекриваючу частину наступного витка. Хоча стрічка може містити будь-який з ряду матеріалів, таких як пластик, композитний матеріал або, зрозуміло, метал, виявлено, що метал особливо підходить з точки зору його загалом високої міцності і легкості формоутворення і з'єднання, як буде описане пізніше. Приклади прийнятних металів включають сталь, нержавіючу сталь, титан та алюміній, деякі з яких особливо підходять, завдяки своїм антикорозійним властивостям. Конкретні матеріали розглянуті нижче в прикладах випробувань. Внутрішня поверхня 16і стрічки 16 і зовнішня поверхня 12а труби 12 можуть бути скріплені разом монтажним клеєм, також як і частини 16а цієї стрічки, що перекриваються. Використання клею допомагає гарантувати, що всі окремі елементи трубчастого виробу 10 деформуються з однаковим ступенем.

Додаткова перевага може бути одержана при нанесенні захисного підшару на металеву стрічку. Матеріал Martinsite, наприклад, хоча і має високу міцність і низький вміст вуглецю, залишається м'якою сталлю і схильний до корозії. Одним з прийнятних підшарів є BR127, що пропонується компанією

єю Cytec Engineering materials, 1300revolution St, Hrvre de Grace, MD21078 США, у якій можна одержати повний перелік технічних даних. Цей підшар сумісний з широким діапазоном клеїв, має встановлені корозійностійкі властивості і також сприяє адгезійному зчепленню. Включення цього підшару разом із зовнішнім захисним матеріалом Curve™ (CyCURV), що намотується, від компанії BP, як описано нижче, забезпечує вірогідну систему захисту з високими характеристиками, яка з легкістю може бути застосована до даного винаходу. Нанесення матеріалу Curve™ може здійснюватися за допомогою адгезійного зчеплення, якщо це необхідно, але оскільки цей матеріал може бути заздалегідь оброблений тиском для одержання необхідного радіуса кривизни, клей може не знадобитися.

Звичайні системи захисту трубопроводів (особливо нанесена в 3 шари і закріплена методом сплавлення епоксидна смола) не можуть бути використані з трубою, що пропонується, через температурні обмеження або несумісність процесу. Важливою особливістю підшару Cytec, що робить можливим його застосування, є те, що він може бути нанесений на плоску стрічку з матеріалу Martinsite і є стійким до процесу утворення ребер без розтріскування або погіршення властивостей.

Як показано на фіг.2, трубчастий виріб, позначений загалом позицією 22, має альтернативну зовнішню оболонку 24, утворену як раніше описано із сталеві стрічки 26, яка має тільки одну сходинку 28, але при цьому при попередній обробці тиском на ній створений виступ 30, утворюючий з одного боку підвищення 30a, а з іншого - заглиблення 30b, що проходять вздовж стрічки 26 з утворенням по суті спіральної різі на зовнішній поверхні цієї альтернативної зовнішньої оболонки 24. Очевидно, що така оболонка альтернативного типу може бути намотана на серцевину 12 таким самим чином, як описано вище, за винятком того, що стрічка намотується з перекриттям так, що заглиблення 30b на будь-якому подальшому шарі взаємодіє з підвищенням 30a на раніше розміщеній частині стрічки 26, призводячи до позиціонування шарів один відносно одного і утворюючи зовнішню спіральну різь, яка може використовуватися як засіб позиціонування фланця, встановленого на трубчасту конструкцію 12 по такій схемі, яка буде описана нижче.

У будь-якому з описаних вище варіантів стрічка 16 або 26 може мати один край 16a, 26a довше за інший край 16b, 26b, щоб додати кривизну стрічці, яка при намотуванні на серцевину 12 забезпечує закріплення стрічки на серцевині з певним ступенем притиснення і/або сприяти правильному перекриттю. У доповнення до цього вказані вище клеї можуть бути у вигляді клеючої стрічки, нанесеної на серцевину 12 або стрічки 16, 26 до або під час намотування стрічки 16, 26 на серцевину 12. Клей може, наприклад, містити отверджуваний полімер, і для зручності містить епоксидну смолу на основі однокомпонентної плівки, що має тектильну основу, щоб забезпечувати легке нанесення клею і легке його твердіння після нанесення. Якщо потрібно, клею можна надати антибактерійні

властивості або властивості стійкості до випромінювання, якщо перераховувати усього лише два приклади властивостей, що надаються. У перелічених нижче прикладах як клей використовується Crytec FM 8210-1. Цей клей може тверднути протягом усього лише двох хвилин при температурі 180 °C, що є повним контрастом з деякими іншими клеями, яким для тверднення за 2 хвилини потрібна температура 250 °C, яка впливає несприятливим чином на властивості клею. Щоб усунути проблеми з контролем якості на будь-якому етапі виробництва може виявитися необхідним, щоб стрічка з матеріалу Martinsite була піддана очищенню/дробоструминній обробці/машинному або хімічному травленню, обезжиренню, ґрунтуванню і попередньому покриттю клеєм в заводських умовах і постачалася у вигляді рулону заздалегідь підготовленого до виробництва виробу. Очевидно, що можуть використовуватися інші види клею, і їх вибір і придатність будуть залежати від сфери застосування готового виробу. Наприклад, може виявитися необхідним використати дуже гнучкий клей, якщо труба повинна бути намотана на барабан для транспортування, або високоміцний і жорсткий клей, якщо труба використовується в сферах застосування з високим рівнем деформації, наприклад, в трубопроводах високого тиску та опорних важелях.

В інших варіантах конструкції композитної труби торцевий з'єднувач являє собою "ахіллесову п'яту" системи. Щоб подолати цю проблему в торцевому з'єднувачі, що пропонується даним винаходом використовуються спіральні виступи на трубі як якір, щоб чинити опір дотичним напруженням, які виникають між трубою і з'єднувачем під час тестів з подачею необмеженого тиску. В основі з'єднувача лежить стандартний фланець BS1560 класу 600 з внутрішнім каналом, що зазнав механічної обробки для відповідності інтервалу між спіральними виступами на трубі. З'єднувач нагвинчується на спіральні виступи, і зазори між з'єднувачем і трубою заповнюються матеріалом Araldite™, який являє собою двокомпонентний монтажний клей з твердненням в холодному стані, що пропонується компанією Huntsman Advanced materials, Даксфорд, Англія, у якій можна одержати повну специфікацію. Середня міцність напруга у цього клею при його нанесенні на звичайну або нержавіючу сталь становить 20-25 Н/мм<sup>2</sup>, при твердненні при кімнатній температурі і аж до 40 °C. Три 6-мм отвори, розташовані під кутом 120° один до одного, свердлять по радіусу через задню конусоподібну частину фланця для введення клею в кільцевий зазор. Канал з'єднувача виконаний з конусністю 1,5 градуси, щоб забезпечити більш рівномірний розподіл напружень в каналі. Відрізок виробу Helipipe був складений з використанням напівтвердих вкладишів з нержавіючої сталі 316L та обмоток з матеріалу Martinsite™, поґрунтованих і покритих плівкою з клею Cytec FM8210-1 з обох кінців труби.

Цей клей пропонується компанією Cytec Engineering materials, Анахайм, штат Каліфорнія, США, у якій можна одержати повну технічну специфікацію. Цей клей має високу міцність при зсуві і

високий опір деформації (напруження зсуву в напустку 5400 фунт/кв. дюйм при 75 °F). Кінець обмоток був зрізаний на 15 мм, щоб запобігти газовиділенню з епоксидного клею під час прикріплення вкладиша за допомогою стикового зварювання. Потім на трубу нагвинчують торцеві з'єднувачі, і вкладиші приварювалися стиковим зварюванням до вставок з нержавіючої сталі, встановлених всередині з'єднувачів. Складання з'єднувача показано на фіг.3.

Щоб полегшити розподіл клею, кожний з'єднувач нагрівався до 40 °C перед подачею двокомпонентного епоксидного клею з холодним твердненням в кільцевий зазор між з'єднувачем і трубою. Щоб забезпечити заповнення кільцевого зазору, то контролюється, використовувалися три канали подачі клею із застосуванням ручного касетного пістолета. Розподіл клею таким чином запобігає попаданню повітряних пухирців в епоксидну смолу. Коли клей заповнює камеру, що заливається, епоксидна смола твердне при приблизно 70-80 °C протягом 30 хвилин. Потім труба перекидається і подібним чином заливається інший кінець.

Щоб забезпечити суцільний захисний бар'єр по відношенню до корозійно-активних продуктів, що транспортуються, вкладиш труби з нержавіючої сталі приварювався стиковим зварюванням до кільця або фланця з нержавіючої сталі, встановленого в каналі з'єднувача, як показано на фіг.3. Кільцевий зварний шов з підготовкою кромок без зазору було важко виконати, оскільки він знаходився всередині каналу труби.

Як показано окрема на фіг.3, з'єднувач, що позначений загальною позицією 32 і використовується з будь-яким з трубчастих виробів 10 або 22, особливо з трубчастим виробом 22, складається з корпусу 34 з виконаним в ньому каналом 36, внутрішня поверхня 36і, якого забезпечена канавками 36g, що спірально проходять, які відповідають підвищенням 30a, утвореним на зовнішній поверхні зовнішньої оболонки 24 трубчастого виробу 22. З'єднувач 32 нагвинчується по підвищеннях на зовнішній поверхні зовнішньої оболонки 24 і, крім цього, прикріплюється до неї за допомогою монтажного клею, що вводиться через один або більше отворів 36h, виконаних із зовнішньої сторони з'єднувача 32. На периферії корпусу 34, віддаленій від трубчастого виробу 22 виконаний фланець 38 для прикріплення з'єднувача 32 до інших звичайних трубопровідних фітінгів (не показані), або частина цієї периферії підготовлена під зварювання (не показано) для з'єднання з іншим звичайним трубопроводом.

Кінець каналу 36, в який вставляється трубчастий виріб 22 переважно виконаний з конусністю T, щоб уникнути виникнення локальних напружень в трубчастому виробі 22 під впливом внутрішнього тиску під час використання або згинання цього виробу. Кінець каналу 36 поблизу фланця 38 має виїмку 36г, в яку може бути встановлене кільце 40 з матеріалу, сумісного з матеріалом, вибраним для створення серцевини 12, це кільце закріплюється у виїмці за допомогою будь-якої прийнятної технології з'єднання. Коли виріб повинен використовуватися для транспортування корозійно-

активних продуктів, як серцевина 12, так і кільце 40 можуть бути виготовлені з нержавіючої сталі і зварені одне з одним за допомогою будь-якої звичайної технології зварювання, щоб в результаті одержати торець трубчастого виробу, придатний для з'єднання. З'єднання може забезпечуватися за допомогою фланця 38, який взаємодіє з аналогічним фланцем на наступному відрізку трубчастого виробу і кріпиться до нього за допомогою болтів (не показані), встановлених в отворах 42, виконаних у фланці.

Якщо потрібно, може бути встановлене додаткове захисне покриття у вигляді шару з матеріалу Curve™, який одержують шляхом намотування із зовнішньої сторони труби. Згаданий матеріал являє собою легкий високоміцний поліпропілен, винайдений професором Йеном Уордом (Ian Ward) з Університету міста Лідс, Англія, вдосконалений компанією BP і пропонується на ринку компанією PROPEX, Гронау, Німеччина. Цей виріб містить множини дуже міцних на розтягнення волокон поліпропілену, сплєтених в мату, а потім нагрітих під тиском, внаслідок чого зовнішні ділянки кожного волокна плавляться і скріплюються із сусідніми волокнами, в той самий час зберігаючи серцевину з дуже міцного на розтягнення матеріалу. Можуть використовуватися і інші види захисного покриття, і даний винахід не повинен сприйматися як обмежений використанням матеріалу Curve™. При використанні матеріалу Curve™ він може використовуватися у вигляді довгої стрічки, яка намотується із зовнішньої сторони трубчастого виробу 10 з перекриттям або встик. Якщо потрібно, він може прикріплюватися до трубчастого виробу за допомогою будь-якого прийнятного клею, наприклад, клею Сутес, згаданого вище.

Далі з посиланням на фіг.4 та 5 буде описана технологія, відома як "нагартування", і те, як вона може бути застосована до даного винаходу, при цьому внутрішня серцевина 12 виготовлена із нержавіючої сталі, що має більш низьку межу текучості і більш високу здатність до подовження в порівнянні з матеріалом Martinsite™. з якого виготовлені стрічки 16 та 26, утворюючи зовнішню оболонку 14 та 24. Типовий графік "напруження-деформація" для вибраних матеріалів показаний на фіг.4.

На фіг.5 показані графіки "напруження-деформація" для двох матеріалів під час процесу "нагартування". Процес навантаження обох матеріалів починається з нульового значення (точка 1), і коли складовий трубчастий виріб, описаний вище, зазнає впливу внутрішнього тиску, рівного заздалегідь визначеному граничному значенню тиску "випробування", яке вище деформації (точка 2), яка відповідає межі текучості для внутрішньої труби 12, але нижче деформації, відповідну межі текучості зовнішньої оболонки 16, 26, внутрішня труба 12 переходить в стан текучості і пластичної деформації (точка 3 та 4). в той час як зовнішня оболонка 16, 26 залишається в межах пружного стану, коли в ній досягаються напруження, що відповідають точкам 3\* та 4\*. При знятті навантаження з трубчастого виробу внутрішня серцевина 12 повертається в стан стискального напруження при



нульовому навантаженні (точка 5), в той час як зовнішня оболонка 16, 26 залишається в стані розтяжного напруження (точка 5\*) значно нижче її межі текучості. При подальшому повторному навантаженні трубчастого виробу до робочого тиску (до точки 6 та 6\*) як зовнішня оболонка 16, 26, так і внутрішня серцевина 12 характеризуються лінійною залежністю, і при будь-якому подальшому циклі навантаження будуть залишатися в межах пружного стану, а внутрішня труба 12 буде працювати при зниженому рівні розтяжних напружень. Це зменшення робочого розтяжного напруження у внутрішній трубі 12 називається "нагартуванням" і буде призводити до зниження ризику виникнення корозійного розтріскування. Показаний на фіг.5 графік "напруження-деформація" для переважної послідовності впливу тиском починається в точці 1 з вихідним станом нульового напруження. Очевидно, що, оскільки внутрішня труба по суті "заздалегідь навантажується" стискальним напруженням, при нормальній роботі вона може зазнавати впливу внутрішнього тиску, який в звичайних умовах призведе до пластичної деформації, що залишається нижче точки переходу в стан текучості для цього матеріалу. Також очевидно, що не всі варіанти реалізації даного винаходу, описані тут, буде необхідно піддавати етапу "нагартування". Наприклад, якщо просто необхідно виготовити дуже довгі відрізки труби, які не зазнають надмірного внутрішнього тиску, можна виготовити трубчастий виріб шляхом безперервного процесу виготовлення внутрішньої серцевини 12 і намотування навколо неї зовнішньої оболонки 16, 26.

На фіг.7-9 показані альтернативні типи механічного зчеплення. На фіг.7 зчеплення здійснюється за допомогою канавки 50, що подовжньо проходить, виконаний з одного краю стрічки 16, і в яку в процесі роботи встановлюється відповідний виступ 52, утворений на іншій стороні стрічки, коли ця стрічка укладається на серцевину 12. У варіанті, показаному на фіг.8, на кожному краю стрічки виконана проста сходинка 54, внаслідок чого в процесі роботи сходинки зчіплюються одна з одною при розміщенні цієї стрічки на серцевині 12. На фіг.9 показаний більш простий варіант, в якому край стрічки 16 просто має скіс 56, щоб створити частину, що перекривається, при кожному оберті стрічки 16, що укладається на серцевину 12. Кожний з цих варіантів механічного зчеплення забезпечує взаємне блокування краю стрічки і забезпечує підвищення міцності з'єднання, як очевидно фахівцям в даній галузі техніки.

Щоб забезпечити підвищений ступінь осьової фіксації або утримання у зовнішній оболонці, може бути необхідним створити осьовий замок у вигляді елементів, що взаємно зчіплюються, як показано на фіг.10 та 11. Як показано на фіг.10, замок першого типу містить канал 60, що виконаний з одного краю стрічки 16 і проходить вздовж краю стрічки, разом з відповідним виступом 62, що подовжньо проходить, виконаним на перекриваючій частині протилежного краю стрічки 16. У процесі роботи виступ 62 розміщується в каналі 60 по мірі намотування стрічки 16 на зовнішню оболонку 12 і забезпечує їх взаємне блокування так, щоб проти-

стояти будь-якому осьовому навантаженню, яке може бути прикладене до трубчастого виробу. На фіг.11 показаний альтернативний варіант, в якому використовується конструкція у вигляді зуба пилки. Зуб 66a, 66b пилки виконаний у вигляді елемента, що подовжньо проходить, на протилежних краях стрічки 16, внаслідок чого ці зубці взаємодіють один з одним, коли стрічка укладається на зовнішню оболонку 12. У процесі роботи розташовані одна проти одної поверхні 68a, 68b зубців входять в зчеплення один з одним, щоб протистояти осьовому навантаженню, яке може бути прикладене до трубчастого виробу 10. Концентрація напружень в цьому другому варіанті значно нижче.

Може бути необхідним додатково підвищити здатність сприйняття навантаження зовнішньою оболонкою 16, в цьому випадку можна використати конструкції, показані на фіг.12 та 13. На фіг.12 краї стрічки 16, утворюючої зовнішню оболонку, виконані скошеними або похилими в ділянці 70a, 70b, внаслідок чого в процесі роботи вони більш щільно прилягають до сходинки 12, яка детально розглянута вище з посиланням на фіг.1. Очевидно, що така зміна конструкції збільшує товщину оболонки в ділянці перекриття, яка в іншому випадку могла б складати тільки один шар, якщо стрічка мала прямовисний край, як показано пунктирними лініями. Шляхом збільшення товщини таким чином можна підвищити здатність до сприйняття навантаження в цій зоні. На фіг.13 показана інша модифікація, в якій зовнішня оболонка 16 утворена із стрічки, що має парні похилі поверхні замість криволінійних поверхонь, показаних на фіг.2. По суті заглиблення 72, що подовжньо проходить, виконане вздовж стрічки, приймає підвищення 74, що подовжньо проходить, виконане в розташованій навпроти поверхні сусіднього витка цієї стрічки. Похилі поверхні 76, 78 заглиблення і підвищення повернені один до одного і входять в контакт один з одним, коли трубчастий виріб зазнає впливу осьового навантаження. Поверхні 76 повернені одна до одної, в той час як поверхні 78 повернені в протилежні сторони. Контакт між похилими поверхнями є таким, щоб навантаження розподілялося більш рівномірно в порівнянні з варіантом здійснення даного винаходу, показаним на фіг.2. Між заглибленням 72 на внутрішній частині обмотки і внутрішньою серцевиною 12 може бути вставлена стрічка матеріалу, щоб заповнити пустий простір і запобігти несприятливому розтягненню внутрішньої серцевини, коли вона зазнає осьового навантаження. Як перевага ця стрічка може бути з матеріалу Martinsite, щоб збільшити здатність до сприйняття навантаження серцевиною.

Щоб виготовити трубчастий виріб 10 згідно з даним винаходом, необхідно спочатку виконати внутрішню серцевину 12, а потім намотати зовнішню оболонку на цю серцевину. На практиці внутрішня серцевина може бути виконана за допомогою будь-якої з ряду технологій, наприклад, екструзійне видавлювання металу або пластику, або безперервне намотування, але виявилось, що найбільш прийнятним є створення вкладиша шляхом профілювання довгої стрічки з металу навколо її подовжньої осі з подальшим роликівим шовним

зварюванням протилежних країв в безперервному режимі. Як тільки утворена внутрішня серцевина 12, зовнішню оболонку можна одержати, намотуючи стрічку 14 з матеріалу навколо серцевини 12 таким чином, що кожний виток стрічки 14 механічно зіп'яється з попереднім витком. Механічне зчеплення може бути будь-яким з ряду різних типів, деякі з яких показані на прикладених кресленнях. Якщо звернутися до фіг.1, очевидно, що один з переважних типів механічного зчеплення може містити перекриття, що забезпечується за рахунок такої деформації стрічки 14 вздовж її подовжньої осі перед укладанням на серцевину 12, яка забезпечує схождение 20 в стрічці 14, що позиціонує перекриваючу частину наступного витка цієї стрічки. Міцність цього варіанту може бути підвищена шляхом використання клею між шарами частин, що перекриваються, і, якщо потрібно, між внутрішньою серцевиною 12 і зовнішньою стрічкою 14. Альтернативою використання клею може служити механічне взаємне зчеплення або модифікація поверхні за допомогою нанотехнологій, покликаної забезпечити притягнення повернених одна до одної поверхонь і утримання їх в цьому положенні, після того як в них виникає відповідний контакт. Альтернативні варіанти механічного блокування показані на фіг.7-9, які розглянуті вище. Як альтернатива або доповнення до цього механічного зчеплення можна виконати виступ 30, що подовжньо проходить, утворюючи з одного боку підвищення 30а, а з іншого боку заглиблення 30b, розглянуті вище з посиланням на фіг.2. Цей виступ може бути одержаний при пропусканні стрічки 14 між парою притисних роликів прийнятної форми (не показані) перед розкатуванням цієї стрічки на зовнішній поверхні внутрішньої серцевини 12, щоб забезпечити позиціонування заглиблення 30b над підвищенням 30а попереднього витка. Таке механічне зчеплення може використовуватися саме по собі або в комбінації з одним або більше з розглянутих тут типів механічного зчеплення. Кожний з

варіантів може бути посилений за рахунок нанесення клею описаного вище типу на контактуючі поверхні, що перекривається, зовнішньої стрічки 14 і/або між внутрішньою серцевиною 12 і зовнішньою стрічкою 14.

Характеристики вихідного складаного зразка наведені нижче в першому стовпці Таблиці 1, при цьому межа текучості серцевини вибиралася як можна більш високою, щоб відповідати межі текучості матеріалу Martinsite (1350 МПа). У результаті була вибрана нержавіюча сталь 316F, що пройшла інтенсивну холодну обробку, з межею міцності на розтягнення 862 МПа. Хоча цей зразок не розривався до досягнення тиском величини 110 Бар надмірного тиску, цей тиск вважався трохи менше, ніж могло б очікуватися. Після аналізу стало зрозуміло, що недолік цього матеріалу полягає в тому, що зона термічного впливу зварного шва мала обмежену здатність до деформації без руйнування і не могла деформуватися аналогічно матеріалу Martinsite, і був зроблений висновок, що цю проблему можна вирішити, знижуючи межу міцності внутрішньої серцевини таким чином, щоб навіть після зварювання вона була здатна деформуватися відповідним чином в умовах напруженого стану, що виникає.

Потім конструкція трубчастого виробу була змінена з використанням повністю відпаленої нержавіючої сталі, що має високу здатність до деформації без руйнування, але з набагато меншою межею міцності 306/308 МПа. Цей трубчастий виріб не розривався доти, доки не досягався тиск 235 Бар надмірного тиску. Така розбіжність меж міцності серцевини та армуючих обмоток дозволяє трубчастому виробу повністю відповідати принципам нагартування для досягнення максимального робочого тиску в композитному вузлі. Характеристики вихідної і модифікованої конструкції наведені нижче в Таблиці, де 0,2 % умовна межа текучості по суті дорівнює реальній межі текучості:

Таблиця 1

## Конструкція тестових зразків

Властивості	Вихідні тестові зразки	Змінені тестові зразки
Матеріал армуючих обмоток	Martinsite220	Martinsite220
Товщина обмотуючої стрічки	0,5 мм	0,5 мм
Напруження пластичної текучості	1350 МПа	1350 Мпа
Межа міцності на розтягнення	1550 МПа	1550 Мпа
Подовження, %	4,5	4,5
Матеріал серцевини	Напівтверда холоднооброблена нержавіюча сталь 316L	Повністю відпалена нержавіюча сталь 316L
Товщина серцевини	0,77 мм	1,00 мм
0,2 % умовна межа текучості	747/771 МПа	306/308 Мпа
Межа міцності на розтягнення	862/872 МПа	604/605 Мпа
Подовження батьківського матеріалу, %	17/18	45
Твердість за Віккерсом, VHN	295	160
Клеючий підшар	Cytec BR127 на основі розчинника	Cytec BR127 на основі розчинника

Продовження таблиці 1

## Конструкція тестових зразків

Властивості	Вихідні тестові зразки	Змінені тестові зразки
Клей	Епоксидна смола на основі одноконтинентної плівки з текстильною основою Cytec FM8210-1	Епоксидна смола на основі одноконтинентної плівки з текстильною основою Cytec FM8210-1
Характеристики конструкції	Стінка серцевини=0,75 мм 2 шари Martinsite=1,0 мм 2 шари клею=0,34 мм Товщина стінки=2,09 мм	Стінка серцевини = 1,00 мм 2 шари Martinsite=1,0 мм 2 шари клею = 0,34 мм Товщина стінки = 2,34 мм

У кожному з наведених вище зразків канал в трубчастому виробі мав діаметр 160 мм.

Хоча очевидно, що можна використати декілька різних матеріалів для серцевини зовнішньої оболонки, були проведені тести і виявилося, що комбінація серцевини з повністю відпаленої нержавіючої сталі 316L, що має межу міцності

280 МПа, і зовнішньої оболонки 16,26 з армуючого високоміцного матеріалу Martinsite™, що має межу текучості 1350 МПа, забезпечує чудові результати. У наведеній нижче Таблиці 2 вказаний тиск нагартування, що використовується для цього переважного зразка.

Таблиця 2

## Характеристики конструкції при випробуванні виробу Helipipe тиском з нагартуванням

Робочий тиск, Бар	Тиск випробування, Бар	Тиск переходу серцевини в стан текучості після випробування, Бар	Діапазон напружень в серцевині після випробування, МПа	Діапазон напружень в матеріалі Martinsite після випробування, МПа
94	140	141	-205/138	186/586

Було обчислено, що коли трубчастий виріб працює при тиску 94 Бар і зазнає стрибка до тиску випробування 140 Бар, діапазон напружень в серцевині із сталі 316L буде змінюватися від стискального напруження величиною 205 МПа до розтяжного напруження величиною 138 МПа. Це істотно знижує розтяжне напруження в серцевині, що ідеально з точки зору утомного і корозійного розтріскування. Армуючі обмотки з матеріалу Martinsite будуть працювати при максимальному напруженні 586 МПа і мати рівень залишкових напружень 186 МПа. З урахуванням межі текучості 1350 МПа обмотки будуть мати коефіцієнт запасу міцності 2,3.

Вказаний вище тестовий зразок був перевірений тиском при температурі 20 °C і руйнувався при тиску 235,5 Бар надмірного тиску. При цьому тиску торцевий з'єднувач не продемонстрував ознак руйнування або спотворення.

Нижче в Таблиці 3 наведені результати випробувань для додаткових варіантів, в яких серцевина із сталі X42 (межа текучості 290 МПа) мала товщину 6 мм, і трубчастий виріб мав діаметр 900 мм. Параметри були відрегульовані таким чином, щоб забезпечити коефіцієнт запасу міцності для матеріалу Martinsite, що дорівнює приблизно 2.

Таблиця 3

## Варіанти конструкції виробу Helipipe (без осьового навантаження)

Варіант	F1	F2	G1	G1a	G2
Робочий тиск, Бар	104	101	201	205	203
Марка матеріалу Martinsite	M220	M130	M220	M220	M130
Межа текучості матеріалу Martinsite, МПа	1350	923	1350	1350	923
Товщина матеріалу Martinsite, mm	6,5	8,5	13,0	10,0	20,0
Коефіцієнт запасу міцності (після випробування)	2,2	2,1	2,2	1,8	2,2
Діапазон окружних напружень в серцевині (тиск від 0 до робочого після випробування), МПа	-270 +103	-180 +133	-290 +186	-290 +288	-236 +115
Діапазон окружних напружень в матеріалі Martinsite (тиск від 0 до робочого після випробування), МПа	249 622	127 440	134 610	174 752	71 422

Варіанти F1 та F2 призначені для номінального робочого тиску 100 Бар і демонструють вплив зміни марки матеріалу Martinsite з найміцнішою (M220) до найбільш слабкої (M130). В обох варіантах серцевина переходить в стан текучості при SP (1,5 робочого тиску) і переходить в стан стиснення при робочому тиску, але не повертається в стан текучості.

Варіанти G1 та G2 призначені для номінального робочого тиску 200 Бар, і для них також вивча-

ся ефект від зміни марки матеріалу Martinsite. У варіанті G1 серцевина переходить в стан текучості при розтяжних напруженнях в умовах тиску SP, а також при стискальних напруженнях в умовах нульового тиску (тобто повертається в стан текучості), але при повторному навантаженні напруження в серцевині нижче межі текучості, і тому чергування станів пластичності не виникає.

Таблиця 4

Варіант	F1	G1	G1a
Робочий тиск, Бар	104	201	205
Марка матеріалу Martinsite	M220	M220	M220
Межа текучості матеріалу Martinsite, Мпа	1350	1350	1350
Товщина матеріалу Martinsite, мм	6,5	13,0	10,0
Коефіцієнт запасу міцності (після випробування)	2,2	2,2	1,8
Діапазон окружних напружень в серцевині (тиск від 0 до робочого після випробування), Мпа	-270 +103	-290 +186	-290 +288
Діапазон окружних напружень в матеріалі Martinsite (тиск від 0 до робочого після випробування), МПа	249 622	134 610	174 752

Таблиця 5

(без осьового навантаження)

Варіант	H
Зовнішній діаметр, мм	160
Робочий тиск, Бар	105
Марка матеріалу Martinsite	M220
Межа текучості матеріалу Martinsite, Мпа	1350
Товщина матеріалу Martinsite, mm	1
Матеріал серцевини	316L
Умовна межа текучості для серцевини, Мпа	300
Товщина серцевини, мм	1
Коефіцієнт запасу міцності (після випробування)	1,8
Діапазон окружних напружень в серцевині (тиск від 0 до робочого після випробування), Мпа	-299 +100
Діапазон окружних напружень в матеріалі Martinsite (тиск від 0 до робочого після випробування), МПа	299 740

Очевидно, що множина інших матеріалів може бути вибрана для використання при виготовленні трубчастого виробу, який відповідає даному виходу. Тільки як приклад звертається увага читача на фіг.6, на якій показана крива залежності "напруження-деформації" для ряду різних матеріалів. На цьому кресленні можна бачити на основі кривої для алюмінію 6061-T651 (M1), що він підходить для використання як матеріал серцевини, завдяки його відносно низькому напруженню пластичної текучості. Додаткові матеріали, такі як мідь (M2), відпалена сталь 1018 (M3) і можливо піддана прокатці латунь C2600 (M4) можуть також виявитися придатними при підборі для матеріалу оболонки, що має відповідне високе напруження пластичної текучості. Холоднокатана сталь 1018 (M5) також є варіантом, але повинна братися до уваги її відносно висока текучість. При виборі комбінації матеріалів необхідно пам'ятати, що зовнішня оболонка повинна бути міцніше внутрішньої серцевини, щоб в серцевині виникала пластична деформація під

час нагартування, коли зовнішня оболонка залишається в стані пружної деформації, внаслідок чого при поверненні до нульового тиску внутрішня серцевина зазнає впливу стискальних напружень, а зовнішня оболонка залишається під дією розтяжних напружень і забезпечує в серцевині стискальні напруження.

Хоча вище описане виготовлення нового трубчастого виробу 10, очевидно, що цю процедуру, якщо внутрішня труба 12 являє собою вже існуючу трубу, можна використати для відновлення і модернізації існуючої труби трубопроводу або тому подібного, а також для виробництва пілонів, башт, опорних важелів, привідних валів, підводних рухомих водовідвідних колон, якщо перераховувати усього лише декілька прикладів.

Конкретна перевага одного з варіантів даного винаходу полягає в тому, що процес "нагартування" може здійснюватися після встановлення відрізка трубчастого виробу в остаточне положення. У таких умовах необхідно просто піддавати трубчас-

тий виріб "нагартуванню", підвищуючи тиск текучого середовища всередині серцевини 12 відповідно до графіка, показаного на фіг.5. Серцевина 12 фактично розширюється над межу пружності і після ослаблення внутрішнього тиску зазнає впливу стискального зусилля з боку зовнішньої оболонки 16,26, внаслідок чого при подальшому підвищенні внутрішнього тиску до необхідного робочого значення внутрішня серцевина 12 залишається значно нижче межі пружності і, отже, менше схильна до корозійного розтріскування.

Очевидно, що спосіб формоутворення, що пропонується, може використовуватися для виготовлення конусоподібного виробу шляхом простого намотування витків таким чином, щоб одержати збільшення або зменшення діаметра по мірі створення цього виробу. Цей варіант може виявитися дуже вигідним при виготовленні башт або інших подібних виробів, де необхідний розподіл навантаження, або де просто необхідно змінювати діаметр з інших експлуатаційних або естетичних міркувань.

В основі переважної конструкції трубчастого виробу лежить корозійностійкий вкладиш, який працює під тиском, опорою якому служить абсолютно пружна високо міцна обмотка з матеріалу Martinsite. При високому внутрішньому тиску обмотка з цього матеріалу залишається пружною і сприймає велику частину окружного напруження. Задачею вкладиша є деформування услід за обмотками з матеріалу Martinsite, щоб забезпечити проходження продукту, що транспортується без втрати.

Будь-які наведені тут дані тестів представлені без урахування варіантів, показаних на фіг.7-13, при використанні яких може бути одержана додаткова вигода.

Посилальні позиції

10, 22 трубчастий виріб

12 серцевина у вигляді внутрішньої труби

12a зовнішня поверхня труби з перекриттям

14, 24 зовнішня оболонка

16, 26 стрічка

16a, 26a частини стрічки, що перекриваються (один край стрічки)

16b, 26b інший край стрічки

18, 20, 28 сходинка

30 виступ

30a підвищення

30b заглиблення

32 з'єднувач

34 корпус

36 канал

36i внутрішня поверхня

36d канавки

36h отвір

36г виїмка

38 фланець

40 кільце

42 отвори

50 канавка

52 виступ

54 сходинка

56 скіс

60 канал

62 виступ

66a, 66b зуб пилки

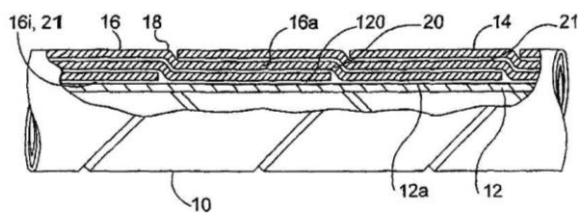
68a, 68b зубці

70a, 70b ділянки країв стрічки

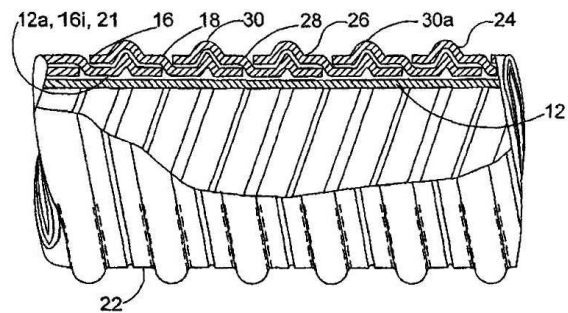
72 заглиблення

74 підвищення

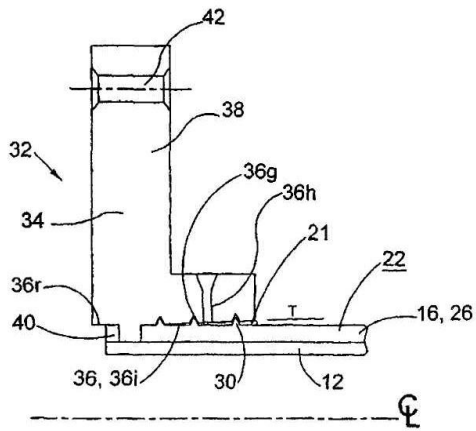
76, 78 похилі поверхні



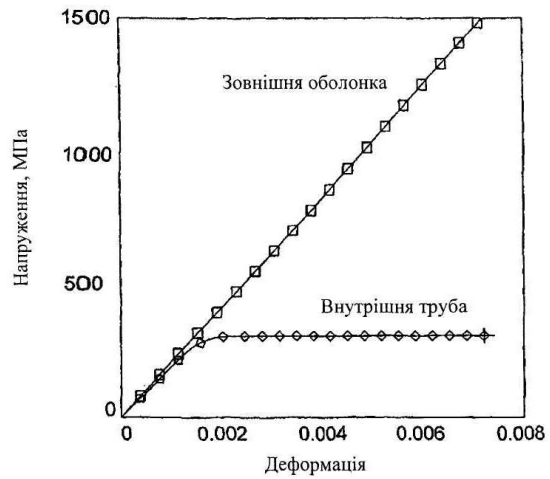
Фіг.1



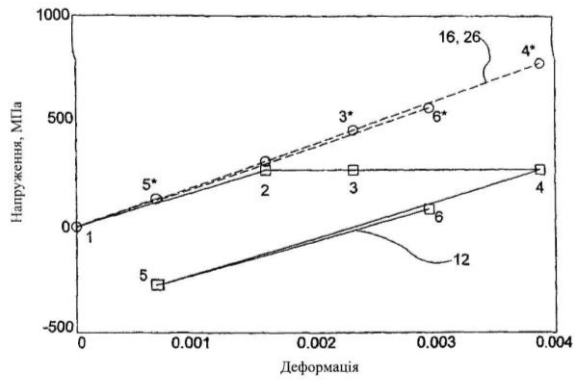
Фіг.2



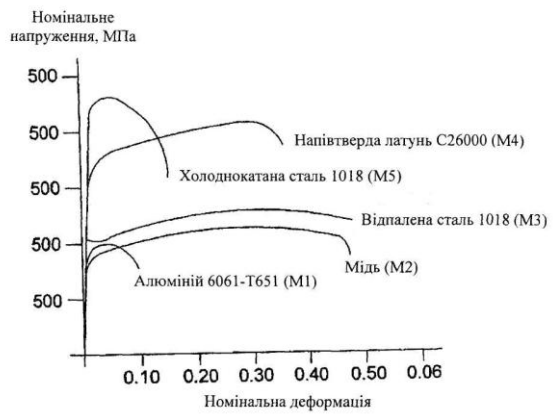
Фиг.3



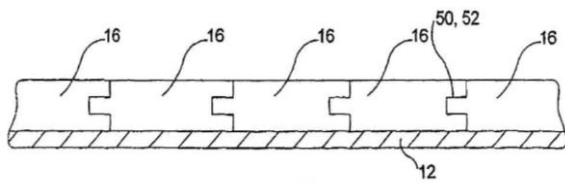
Фиг.4



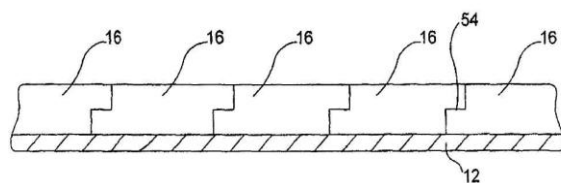
Фиг.5



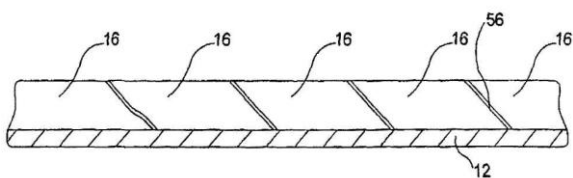
Фиг.6



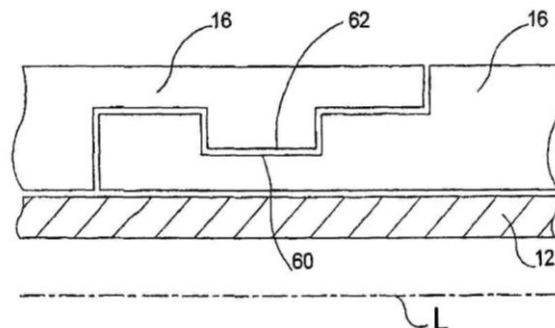
Фиг.7



Фиг.8



Фиг.9

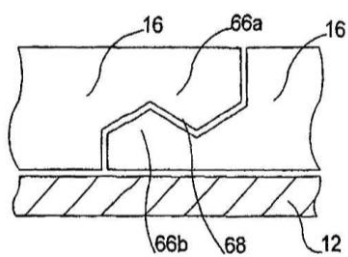


Фиг.10

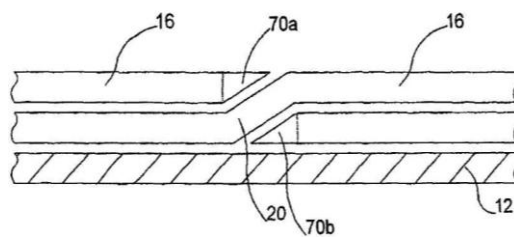
29

96256

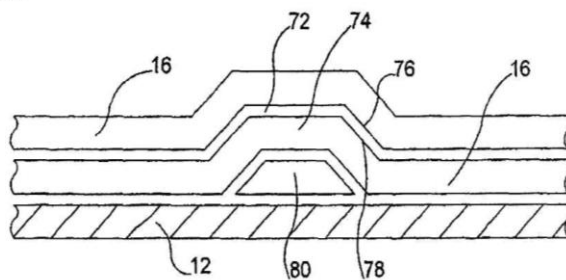
30



Фиг.11



Фиг.12



Фиг.13