



УКРАЇНА

(19) UA (11) 39865 (13) U
(51) МПК (2009)
E21B 17/02
F16L 15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) РІЗЬБОВЕ З'ЄДНАННЯ ТРУБ

1

2

(21) u200813266

(22) 17.11.2008

(24) 10.03.2009

(46) 10.03.2009, Бюл.№ 5, 2009 р.

(72) КРИЖАНІВСЬКИЙ ЄВСТАХІЙ ІВАНОВИЧ, UA, ПАЛІЙЧУК ІГОР ІВАНОВИЧ, UA, ЩЕГЛЮК ПЕТРО ВАСИЛЬОВИЧ, UA, РОКЕЦЬКИЙ СТЕПАН ПЕТРОВИЧ, UA

(73) ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, UA

(57) Різьбове з'єднання труб, яке включає охоплюючу і охоплювану труби із взаємодіючими між собою відповідними ділянками різьбових та конічних ущільнювальних поверхонь, на проміжку між якими охоплювана труба з внутрішньої та зовнішньої сторін містить проточки і має меншу від сусідніх ділянок згинальну жорсткість стінки, та герметизуючий елемент з матеріалу з іншими властивостями, ніж у матеріалу труб, яке **відрізняється** тим, що проточки виконані із збільшенням діаметрів у напрямку від різьбової до ущільнюва-

льної ділянки, а герметизуючий елемент розміщений на охоплюючій трубі по усій довжині ущільнювальної поверхні у вигляді шару матеріалу з пластичними властивостями вищими, ніж у матеріалу труб, і товщиною S, яку вибирають з наступного виразу:

$$S = \frac{\sigma_{\text{п}}}{E_2} \cdot b \cdot \left(\frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} + \mu_2 \right) + \frac{\sigma_{\text{п}}}{E_2} \cdot \frac{(b + a)^2}{4 \cdot (b - a)},$$

де c - зовнішній радіус охоплюючої труби, мм;
b - радіус ущільнювальної поверхні, який є зовнішнім для охоплюваної труби і внутрішнім для охоплюючої труби, мм;
a - внутрішній радіус охоплюваної труби, мм;
 $\sigma_{\text{п}}$ - напруження плинності матеріалу герметизуючого елемента, МПа;
 E_1 і E_2 - модуль пружності матеріалу відповідно охоплюваної і охоплюючої труб, МПа;
 μ_2 - коефіцієнт поперечної деформації матеріалу охоплюючої труби.

Корисна модель відноситься до галузі видобування нафти і газу, а саме до різьбових з'єднань насосно-компресорних і обсадних труб, які використовують при спорудженні та експлуатації свердловин в умовах високих діючих тисків.

Відомі різьбові з'єднання труб [1, 2], які включають охоплюючу трубу, що є частиною двосторонньої муфти або розширеним кінцем іншої труби, і охоплювану трубу, які взаємодіють між собою ділянками відповідних конічних різьбових поверхонь, що забезпечує міцність з'єднання при згинчуванні. При цьому охоплювана труба переміщується всередині охоплюючої до контакту відповідних конічних ущільнювальних поверхонь. Завдяки подальшому силовому затягуванню різьби ці поверхні взаємодіють між собою з контактним тиском, який повинен забезпечити герметичність з'єднання.

Відомо, що контактний тиск величиною R_K (МПа) виникає на контактних поверхнях охоплюваної та охоплюючої труб внаслідок заданого радіального натягу, тобто заданої різниці радіусів

цих поверхонь, величиною Δ (мм). Цей тиск стискає охоплювану трубу і зменшує її радіус на величину u_1 (мм) та розтискає охоплюючу трубу і збільшує її радіус на величину u_2 (мм). Між цими величинами існує співвідношення [3, стор. 54; 4, стор. 69]

$$u_1 + u_2 = \Delta \quad (1)$$

Зменшення радіуса u_1 охоплюваної труби, яка має товщу стінки, розраховують за формулою [3, стор. 73; 4, стор. 315].

$$u_1 = \frac{R_K \cdot r^2}{E_1 \cdot h}, \quad (2)$$

де R_K - контактний тиск, МПа;
 E_1 - модуль пружності матеріалу охоплюваної труби, МПа;
r - радіус розрахункової серединної поверхні охоплюваної труби, мм;
h - товщина стінки охоплюваної труби, мм.
Величини r і h визначають за формулами

(13) U

(11) 39865

(19) UA

$$r = \frac{1}{2}(b + a), h = b - a, \quad (3)$$

де b - радіус ущільнювальної поверхні, який є зовнішнім для охоплюваної труби, мм;

a - внутрішній радіус охоплюваної труби, мм.

Збільшення радіуса u_2 охоплюючої труби, яка має товстішу стінку, розраховують за формулою Ламе [3, стор. 73; 4, стор. 315]

$$u_2 = \frac{P_k}{E_2} \cdot b \cdot \left(\frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} + \mu_2 \right), \quad (4)$$

де c - зовнішній радіус охоплюючої труби, мм;

b - радіус ущільнювальної поверхні, який є внутрішнім для охоплюючої труби, мм;

E_2 - модуль пружності матеріалу охоплюючої труби, МПа;

μ_2 - коефіцієнт поперечної деформації матеріалу охоплюючої труби.

Підставивши вирази (2-4) у вираз (1), отримують формулу для розрахунку контактної сили P_k (МПа), який створюється натягом Δ у ущільненні

$$P_k = \frac{\Delta}{\frac{b}{E_2} \cdot \left(\frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} + \mu_2 \right) + \frac{1}{E_1} \cdot \frac{(b+a)^2}{4 \cdot (b-a)}}, \quad (5)$$

Цей тиск викликає на контактних поверхнях сили тертя при згинчуванні. Тому заданий радіальний натяг (різницю радіусів) Δ і розраховану величину P_k обмежують (вибирають меншими) так, щоб момент сил тертя був меншим за крутний момент, який може розвинути загвинчувальний механізм.

Однак під час виготовлення труб на їх ущільнювальних поверхнях утворюються мікронерівності (наприклад, від різального інструменту), по вершинах яких відбувається контакт при згинчуванні труб. На кожній з контактних поверхонь виникають стискаючі напруження, які рівні розрахованій величині P_k . Через це вони виявляються меншими за напруження плинності матеріалу труб, який вибирають з високими механічними властивостями (наприклад, сталі), здатними витримувати діючі тиски у свердловині. Тому вершини мікронерівностей пластично не деформуються і між ними залишаються впадини, що можуть утворювати негерметичні, столучені між собою, наскрізні канали, через які відбувається витікання рідини чи газу та втрата герметичності з'єднання. Щоб усунути ці мікронерівності, потрібні додаткові витрати на високоякісну обробку контактних поверхонь (наприклад, шліфування, полірування).

Крім цього, під час виготовлення різьбових і ущільнювальних поверхонь цих труб виникають допустимі відхилення їх радіусів у бік збільшення чи зменшення. Це приводить до того, що при згинчуванні з'єднання на одній з двох конічних ділянок - або у різьбі, або в ущільненні, контакт настає раніше і перешкоджає взаємодії поверхонь на іншій. Наприклад, у випадку збільшеного натяга у різьбі взаємодія охоплюваної і охоплюючої труб на різьбовій ділянці досягається раніше, ніж контакт між поверхнями ущільнення, і тому герметичність не досягається. У випадку збільшеного натяга в ущільненні (наприклад, при збільшеному радіусі охоплюваної поверхні або при зменшеному радіусі

охоплюючої поверхні), коли контакт ущільнювальних поверхонь досягнуто, то в цей час взаємодія різьбових поверхонь ще недостатня для міцності з'єднання. А висока жорсткість стінки охоплюваної труби на проміжку між ущільненнями і різьбою перешкоджає радіальному стисканню стінки охоплюваної труби, яке б могло дозволити подальше загвинчування різьби до досягнення міцності з'єднання. Тому такі з'єднання вимагають трудомісткого індивідуального підбору та одночасного узгодження радіусів конічних різьбових і ущільнювальних поверхонь охоплюючої та охоплюваної труб.

Відоме різьбове з'єднання теплоподавальних труб [5], яке включає муфту з двостороннім уступом в середній частині, конічними різьбовими ділянками і конічними ущільнювальними поверхнями з боку уступа та ніпелі з відповідними до муфти конічною різьбою і конічною ущільнювальною ділянкою з кільцевою проточкою під герметизуючий елемент, яка виконана на торці ніпеля і довжина якої вибирається меншою за довжину ущільнювальної ділянки ніпеля. Герметизуючий елемент виконаний із матеріалу з коефіцієнтом лінійного розширення при підвищенні температури більшим, ніж такий коефіцієнт матеріалу муфти і ніпеля, та може бути виконаний із матеріалу з пам'яттю форми. Цей елемент встановлено в кільцевій проточці, а його зовнішня поверхня має конічну форму, відповідну до конічної ущільнювальної поверхні муфти, діаметр якої в розрахунковій площині вибирають із розрахунку за заданим виразом. Поверхні двостороннього уступа муфти в її середній частині та взаємодіючі з ними торці герметизуючих елементів виконані у вигляді частини конічної поверхні, при чому вершини конусів, що утворюють ці поверхні, направлені від середньої частини муфти до її торців.

Однак необхідна для роботи цього з'єднання одночасна взаємодія конічних різьбових і ущільнювальних поверхонь охоплюваних труб - ніпелів і герметизуючого елемента з відповідними поверхнями охоплюючої труби - муфти зумовлює наявність у такого з'єднання усіх недоліків, описаних вище для різьбових з'єднань труб за [1, 2]. Також необхідна для його роботи одночасна взаємодія торців ніпелів з уступом муфти, яка полягає у їх впиранні, перешкоджає загвинчуванню труб і взаємодії їх конічних різьбових та ущільнювальних поверхонь внаслідок відхилень довжини двостороннього уступа (наприклад, у бік збільшення), які є допустимими при його виготовленні. Тому таке з'єднання вимагає додаткового трудомісткого підбору та узгодження довжини двостороннього уступа муфти з наявними відхиленнями радіусів конічних різьбових і ущільнювальних поверхонь на охоплюючій і на охоплюваній трубах.

До цього ж кільцева проточка зі сторони ущільнювальних поверхонь з установленим герметизуючим елементом за довжиною виконана меншою, ніж конічна ущільнювальна ділянка. Це зменшує площу взаємодії поверхонь у ущільненні і погіршує його герметизуючі властивості. А при виконанні герметизуючого елемента з матеріалу, коефіцієнт теплового розширення якого більший за такий коефіцієнт матеріалу муфти і труби, при

підвищенні температури такий елемент розтискає муфту і розширюється більше, ніж охоплювана труба, чим погіршує ущільнення з нею і як наслідок - герметичність з'єднання.

Крім того, кільцевий герметизуючий елемент цього з'єднання встановлено між ущільнювальними поверхнями охоплюючої і охоплюваної труб, що утворює дві контактні поверхні, на яких присутні мікронерівності та впадини між ними. Через це зростає кількість шляхів витікання рідини чи газу і порушення герметичності з'єднання, а також збільшується кількість поверхонь, розміри яких потрібно індивідуально підбирати при виготовленні з'єднання.

Найбільш близьким до запропонованого є відоме з'єднання теплоподавальних труб [6], яке включає охоплюючу і охоплювану труби із взаємодіючими між собою відповідними ділянками різьбових та конічних ущільнювальних поверхонь і кільцеву проточку під герметизуючий елемент, коефіцієнт теплового розширення якого більший за такий коефіцієнт матеріала труб. Кільцева проточка розміщена з протилежної до конічної ущільнювальної поверхні сторони стінки охоплюваної труби і складається з двох ділянок, одна з яких з герметизуючим елементом відповідає по довжині конічній ущільнювальній поверхні, а друга відповідає проміжку між різьбовою і конічною ущільнювальною поверхнями. Стінки охоплюваної труби на кожній ділянці виконані з різними деформаційними характеристиками із розрахунку різної товщини і відповідною їй жорсткістю так, що стінка охоплюваної труби між ділянками різьбової та конічної ущільнювальної поверхонь вибрана з найменшою згинальною жорсткістю.

Незважаючи на те, що таке з'єднання дозволяє одночасно взаємодію конічних поверхонь труб на ділянках ущільнення і різьби у випадку збільшеного радіального натяга в ущільненні за рахунок найменшої згинальної жорсткості стінки охоплюваної труби на проміжку між ущільненням і різьбою, яка сприяє радіальним деформаціям стискання стінки охоплюваної труби, і можливості завдяки цьому продовжувати загвинчування різьби до досягнення її міцності, це з'єднання має інші недоліки, описані вище для з'єднань труб за [1, 2].

Недоліком цього з'єднання є те, що кільцева проточка зменшує товщину і відповідну їй жорсткість стінки охоплюваної труби на довжині ущільнення, що разом з меншою жорсткістю її стінки між ущільненням та різьбою призводить до зменшення контактної тиску на ущільнювальних поверхнях, який не здатний здеформувати мікронерівності і усунути впадини між ними. До того ж герметизуючий елемент розміщений у кільцевій проточці з протилежної до ущільнювальної поверхні сторони стінки охоплюваної труби і тому не спроможний заповнити вказані впадини.

Крім того, для роботи цього з'єднання є необхідним згин і поворот стінки охоплюваної труби на проміжку між ущільненням та різьбою у напрямку зменшення радіуса стінки ділянки ущільнення внаслідок її стискання, що зменшує довжину цього проміжку. Оскільки міцність з'єднання досягнута у різьбі, то ділянка ущільнення охоплюваної труби зміщується у напрямку від ущільнення до різьби

("втягується" із ущільнення) на величину зменшення проміжку, що додатково зменшує натяг і контактний тиск в ущільненні.

Задача, яка ставилась при створенні цієї корисної моделі - підвищити надійність та щільність контакту між ущільнювальними поверхнями у з'єднанні труб при дії високих тисків шляхом заповнення впадин мікронерівностей на цих поверхнях пластично здеформованим матеріалом внаслідок збільшення натягу та підвищення контактної тиску за рахунок товщини герметизуючого елемента і направлення деформації стінок охоплюваної труби на поверхні ущільнення.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому різьбовому з'єднанні труб, яке включає охоплюючу і охоплювану труби із взаємодіючими між собою відповідними ділянками різьбових та конічних ущільнювальних поверхонь, на проміжку між якими охоплювана труба з внутрішньої та зовнішньої сторін містить проточки і має меншу від сусідніх ділянок згинальну жорсткість стінки, та герметизуючий елемент із матеріалу з іншими властивостями, ніж у матеріалу труб, згідно із корисною моделлю проточки виконані із збільшенням діаметрів у напрямку від різьбової до ущільнювальної ділянки, а герметизуючий елемент розміщений на охоплюючій трубі по усій довжині ущільнювальної поверхні у вигляді шару матеріалу з пластичними властивостями вищими, ніж у матеріалу труб, і товщиною S , яку вибирають з наступного виразу

$$S = \frac{\sigma_{\text{п}} \cdot b}{E_2} \cdot \left(\frac{c^2 + b^2}{c^2 - b^2} + \mu_2 \right) + \frac{\sigma_{\text{п}} \cdot (b + a)^2}{E_2 \cdot 4 \cdot (b - a)}, \quad (6)$$

де c - зовнішній радіус охоплюючої труби, мм;

b - радіус ущільнювальної поверхні, який є зовнішнім для охоплюваної труби і внутрішнім для охоплюючої труби, мм;

a - внутрішній радіус охоплюваної труби, мм;

$\sigma_{\text{п}}$ - напруження плинності матеріалу герметизуючого елемента, МПа;

E_1 і E_2 - модуль пружності матеріалу відповідно охоплюваної і охоплюючої труби, МПа;

μ_2 - коефіцієнт поперечної деформації матеріалу охоплюючої труби.

Конструкція з'єднання виконанням проточок із збільшенням діаметрів у напрямку від різьбової до ущільнювальної ділянки на проміжку між ними на внутрішній та зовнішній сторонах охоплюваної труби забезпечує збільшення цього проміжку під час згину та повороту його стінки, які викликані необхідним для роботи з'єднання стисканням і зменшенням радіуса ущільнювальної ділянки охоплюваної труби. Це приводить до додаткового просування цієї ділянки у напрямку від різьби, у якій досягнуто міцність з'єднання, до ущільнювальної поверхні охоплюючої труби, і внаслідок цього до зростання на ній натягу та контактної тиску, що підвищує надійність ущільнення.

Розміщення герметизуючого елемента на охоплюючій трубі по усій довжині ущільнювальної поверхні зберігає на ділянці ущільнення охоплюваної труби більшу товщину і відповідно більшу жорсткість стінки завдяки відсутності проточок на ній, що сприяє досягненню вищого контактної

тиску на ущільнювальних поверхнях, а також забезпечує контакт по усій площі цих поверхонь, що підвищує герметичність ущільнення.

Виконання герметизуючого елемента у вигляді шару матеріалу забезпечує працездатність з'єднання незалежно від способу розміщення цього елемента у з'єднанні (наприклад, одним із способів - запресування тонкого кільця, наварювання металу, наплавлювання чи напилювання матеріалу, гальванічного чи електрохімічного покриття тощо) і дозволяє зменшити вартість з'єднання за рахунок вибору дешевшого способу виготовлення.

Вибір матеріалу герметизуючого елемента з пластичними властивостями (наприклад: цинк, свинець, мідь, фторопласт, поліетилен, інші види пластмас) вищими, ніж у матеріалу труб (наприклад, сталі), забезпечує нижчі напруження пластичності матеріалу елемента і заповнення ним впадин мікронерівностей на ущільнювальних поверхнях труб завдяки його пластичному деформуванню, яке стає досяжними для діючого в ущільненні контактного тиску.

Вибір товщини S герметизуючого елемента за виразом (6) забезпечує збільшення радіального натягу в ущільненні на цю величину S , що відповідно до розрахункової формули (5) забезпечує зростання контактної тиску в ущільненні, який досягає значення σ_{Π} напружень пластичності матеріалу елемента і викликає його пластичні деформації, необхідні для герметизації.

Корисна модель ілюструється кресленням, де на фігурі зображено загальний вигляд запропонованого з'єднання.

Різьбове з'єднання складається із охоплюваної 1 і охоплюючої 2 труб, які взаємодіють між собою ділянками різьбових 3 і конічних ущільнювальних 4 поверхонь. На проміжку між ними охоплювана труба 1 з внутрішньої і зовнішньої сторін містить проточки 5 і 6, завдяки яким має меншу від сусідніх ділянок згинальну жорсткість стінки, при чому проточки 5 і 6 виконані із збільшенням діаметрів у напрямку від різьбової 3 до ущільнювальної 4 ділянки. Герметизуючий елемент 7 розміщений на охоплюючій трубі 2 по усій довжині ущільнювальної поверхні 4 у вигляді шару матеріалу з пластичними властивостями вищими, ніж у матеріалу труб 1 і 2, і товщиною S , яку вибирають із виразу (6).

Різьбове з'єднання збирають наступним чином. При згвинчуванні труб 1 і 2 завдяки різьбовим

ділянкам 3 вони переміщуються назустріч одна одній до взаємодії між ущільнювальними поверхнями 4 герметизуючого елемента 7 і охоплюваної труби 1. Загвинчування з'єднання і переміщення труб продовжують далі, у результаті чого стінка охоплюваної труби 1 на ділянці кінчної поверхні 4 пружно стискається, а її радіус зменшується. Це викликає кільцевий згин і поворот стінки труби 1 на проміжку проточок 5 і 6, внаслідок чого цей проміжок збільшується у напрямку від різьби 3, де досягнута міцність з'єднання, до ущільнення 4 і створює додаткове просування та стискання стінки охоплюваної труби 1 на ділянці ущільнення, що підвищує його надійність.

Пружно стиснута в ущільненні стінка труби 1 створює контактний тиск на ущільнювальних поверхнях 4 і відповідні напруження стискання герметизуючого елемента 7. Оскільки його товщину S вибрано із виразу (6), то цим збільшено радіальний натяг в ущільненні 4 на величину S , тому відповідно до виразу (5) контактний тиск досягає значення σ_{Π} напружень пластичності матеріалу елемента 7. Це викликає його пластичні деформації і заповнення ним впадин мікронерівностей на ущільнювальних поверхнях 4 охоплюваної 1 і охоплюючої 2 труб, що забезпечує герметизацію з'єднання.

Економічна ефективність запропонованої конструкції різьбового з'єднання труб слідує із підвищення герметичності і надійності з'єднання при згвинчуванні та роботі при високих тисках в умовах свердловини.

Джерела інформації:

- ГОСТ 632-80. Трубы обсадные и муфты к ним. Технические условия.
- ГОСТ 633-80. Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия.
- Еременко Т.Е., Мочернюк Д.Ю., Тищенко А.В. Герметизация резьбовых соединений обсадных колонн нефтяных и газовых скважин. - Киев: Техника, 1967.-170 с.
- Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. - Москва: Машиностроение, 1973. - 456 с.
- Ас. СССР № 1663174, кл. E21B 17/02, 17/042, F16L 15/00. Бюл. № 26, 15.07.1991р.
- Патент України № 76804, кл. E21B 17/02, F16L 15/00. Бюл. № 9, 15.09.2006р.

