

Даний винахід стосується охоплюваного або охоплюючого трубного нарізного елемента нарізного трубного з'єднання, здатного протистояти впливу як статичних, так і механічних напружень, що циклічно змінюються.

Даний винахід стосується також нарізного трубного з'єднання, пристосованого для протистояння як статичним, так і механічним напруженням, що циклічно змінюються.

Нарізні трубні з'єднання містять охоплюваний нарізний елемент, розташований на кінці першої труби, і охоплюючий нарізний елемент, розташований на кінці другої труби, яка являє собою трубу великої довжини або трубну муфту. Такі нарізні з'єднання використовуються, зокрема, для формування колони обсадних труб, або колони експлуатаційних труб, або колони бурильних труб, що використовуються для свердловин, призначених для видобутку вуглеводневої сировини, або для аналогічних свердловин іншого призначення, таких, наприклад, як свердловини геотермічного типу.

Американський Інститут Нафти (API) визначає у своїй специфікації API 5B характеристики нарізних з'єднань між обсадними трубами або між експлуатаційними трубами з використанням, зокрема, конічної різі із закругленими трикутними або з трапецієподібними профілями витків різі.

Відомі також і інші типи нарізних трубних з'єднань, в яких використовується, наприклад, двоступенева різь циліндричного або конічного профілю (дивися, наприклад, патент США 4521042).

Донедавна обсадні або експлуатаційні труби в основному повинні були протистояти різним сполученням статичних механічних впливів (таких, наприклад, як зусилля розтягування, осового стиснення, плоский вигин, внутрішній або зовнішній тиск), незважаючи на їх обмежену товщину, що є причиною необхідності їх використання у глибоких свердловинах, де необхідно вставляти одна в одну різні колони труб відмінних діаметрів.

Навпаки, бурильні труби, які використовуються тільки для буріння свердловин, зазнають значних механічних впливів, що циклічно змінюються, але проте не зазнають обмежень, що стосуються їх габаритних розмірів, оскільки тільки одна колона труб заданого діаметра опускається у свердловину на даний момент часу.

Механічні впливи циклічного характеру, якщо вони строго не обмежені, призводять в експлуатації до руйнування від утомленості, виникаючого у кореневій частині профілю витків різі, звичайно з боку робочих бокових поверхонь профілю різі, які знаходяться під навантаженням.

Це місце найбільш частого виникнення тріщин від утомленості визначається концентрацією механічних напружень у з'єднанні між боковою поверхнею профілю і донною частиною западини профілю різі.

Для того, щоб підвищити стійкість трубного нарізного з'єднання по відношенню до циклічних механічних впливів, необхідно зменшити рівень максимальних механічних напружень шляхом зниження загального рівня механічних напружень на робочій боковій поверхні профілю і шляхом реалізації можливо менш кутастого з'єднання між робочою боковою поверхнею і донною частиною западини профілю різі.

Специфікація API 7D визначає бурильні труби з міцною конічною різзю, пристосовані для протистояння експлуатаційним механічним впливам. Витки трубної різі відповідно до норми API 7D мають сильно закруглену трикутну форму з робочими та взаємодіючими одна з одною боковими поверхнями профілю різі, кожна з яких розташована під кутом 30° по відношенню до перпендикуляра до осі даного нарізного елемента.

Необхідно зазначити, що робоча бокова поверхня профілю різі являє собою поверхню, яка розташована на кожному витку різі зі сторони, протилежної вільному кінцю даного нарізного елемента. Це визначення буде використане протягом всього тексту представленого тут опису.

Донна частина западини профілю різі виконана закругленою та такою, що проходить відповідно до дуги кола, яка має радіус 0,97мм (або 0,038 дюйми) і яка центрована на осі донної частини западини профілю різі. Ця дуга кола дотичним чином з'єднується з боковими поверхнями профілю різі.

Кут, який становить 60° і який сформований між боковими поверхнями профілю різі, що є результатом трикутного профілю витків різі, забезпечує з використанням у з'єднувальній зоні дуги кола досить великого радіуса.

Вершини витків різі скошені таким чином, щоб виключити будь-яку радіальну взаємодію між вершинами профілю різі і донними частинами западин сполученої різі.

Висота скошеного таким чином профілю витків різі становить 3,08мм (або 0,121 дюйми), що відповідає подвоєній висоті витків різі, виконаній для нарізного з'єднання відповідно до норми API 5B.

Проте, ці засоби можуть виявитися недостатніми і тому у патенті США 4549754 описаний профіль різі, модифікований по відношенню до специфікації API 7D для бурильних труб, який робить можливим ще більше зменшити концентрації механічних напружень.

Різь, виконана відповідно до цього патенту США 4549754, представляє в розрізі дно западини профілю, яке не є симетричним, але містить закруглення, центр якого зміщений у напрямку бокової поверхні заходу (протилежної по відношенню до робочої бокової поверхні профілю) і радіус якого збільшений приблизно на 50% по відношенню до радіуса відповідно до документа API і становить приблизно 1,45мм (або 0,057 дюйми).

Це закруглення з'єднане дотичним чином з робочою боковою поверхнею профілю, причому ця поверхня з'єднана за допомогою менш критичного профілю з боковою поверхнею заходу, тобто за допомогою простого відрізка прямої або криволінійної лінії з радіусом 0,81мм (або 0,032 дюйми), після якої йде відрізок прямої лінії.

У цьому випадку дно западини профілю різі виїняте більше, ніж у різі відповідно до норми API, і вимагає, таким чином, дуже великої товщини вихідної труби для того, щоб нарізати таку різь.

Таке технічне рішення не розглядається для колон труб, призначених для експлуатації свердловин у тому випадку, коли ці труби одночасно зазнають впливу статичних та механічних напружень, що циклічно змінюються.

Тепер зустрічаються такі вимоги до стійкості по відношенню до зовнішніх впливів у підводних колонах труб, зв'язаних з морем з платформами, що забезпечують видобуток вуглеводневої сировини у морі.

Такі колони труб, названі фахівцями у даній області техніки англійським

терміном «risers», дійсно зазнають впливу механічних напружень, що циклічно змінюються, зокрема,

виникаючих внаслідок наявності морських течій, які викликають вібрації колони труб, внаслідок хвилювання моря, приливів і відпливів, а також внаслідок можливого переміщення самих цих платформ.

Такі вимоги до стійкості по відношенню до зовнішніх механічних впливів зустрічаються також у наземних свердловинах, зокрема, у процесі опускання колони труб з обертанням для цементації свердловин у випадках, що часто зустрічаються, свердловин, які відхиляються від вертикалі і які представляють вигини.

Саме тому були зроблені спроби удосконалити трубні нарізні з'єднання для обсадних труб, експлуатаційних труб або для трубних колон типу «risers» таким чином, щоб підвищити їх стійкість від утомленості.

У міжнародній патентній публікації WO 98/50720 описане таке вдосконалене трубне нарізне з'єднання.

Описана у цій публікації трубна різь містить витки трапецієподібного профілю, одержані на основі так званих витків типу «butfress», що відповідають специфікації API 5B.

Трапецієподібна форма профілю витків різі обмежує небезпеку деформації нарізних елементів, яка здатна призвести до пошкодження з'єднання у процесі його згинчування, зокрема, внаслідок надмірного затягування.

Донні частини западин витків різі є по суті прямолінійними і з'єднуються з кожною з бокових поверхонь профілю за допомогою закруглення, радіус якого має величину у діапазоні від 10% до 50% від величини повної ширини донної частини западини витка різі (і переважно у діапазоні від 16% до 26% від цієї повної ширини), причому це закруглення закінчується тангенціально по відношенню до бокової поверхні і до дна западини витка різі.

Висота витків різі у цьому випадку виконана такою, щоб виключити будь-яку можливість взаємодії у радіальному напрямку між донною частиною западини витка різі і вершиною відповідного витка сполученої різі, підтримуючи між ними радіальний зазор, величина якого становить щонайменше 0,25мм (або 0,010 дюйми).

Беручи до уваги типи різі, наведені як приклад, закруглення у донній частині западини витка різі мають величину радіуса порядку 0,5мм проти 0,15мм для радіусів, що визначаються нормою API 5B.

Такі радіуси закруглень можуть показатися дуже малими, якщо порівнювати їх з радіусами закруглень для бурильних труб, однак трапецієподібна форма витків різі, що використовуються у цьому випадку, не дозволяє виконувати такі великі радіуси закруглень, як у випадку витків трикутного профілю при умові зменшення площі робочої поверхні бокових поверхонь профілю витків, що знаходяться у контакті.

Крім того, різі, виконані відповідно до цієї публікації WO 98/50720, не пристосовані до використання так званих взаємодіючих витків, які характеризуються взаємодією у радіальному напрямку між вершинами витків однієї різі і відповідними донними частинами западин сполученої з нею різі. Описані тут витки різі являють собою витки типу «клину» із змінною шириною, як це описане у патентному документі US Re 30647.

Відповідно до даного винаходу була зроблена спроба реалізувати охоплюваний або охоплюючий трубний нарізний елемент, призначений для трубного нарізного з'єднання, який був би одночасно особливо стійким:

а) до статичних механічних зовнішніх впливів, зокрема, до розтягування в осьовому напрямку, до стиснення в осьовому напрямку, до вигину, крутіння, до впливу внутрішнього або зовнішнього тиску і до роз'єднання у процесі згинчування, які діють окремо або у різних сполученнях (наприклад, розтягування в осьовому напрямку плюс внутрішній тиск);

б) до механічних зовнішніх впливів циклічного характеру.

Такий нарізний елемент далі буде називатися нарізним елементом, що має протиутомний профіль різі.

Були також зроблені зусилля, направлені на те, щоб нарізний трубний елемент відповідно до даного винаходу міг бути реалізований з використанням різі будь-якого типу, наприклад, конічної, циліндричної або комбінованої циліндроконічної, з одним або декількома ступенями, з витками трапецієподібного або трикутного профілю, взаємодіючих або не взаємодіючих між собою у радіальному напрямку. Такі не взаємодіючі у радіальному напрямку різі можуть бути, наприклад, типу описаних в європейській патентній заявці EP 454147, з одночасним контактом двох бокових поверхонь з боковими поверхнями профілю сполученої різі (ще названої «rugged thread»), з осьовим стягуванням або з типу клина із змінною шириною профілю, як це описане, наприклад, у патентному документі US Re 30647.

Крім того, необхідно, щоб нарізний елемент можна було досить легко виготовити і легко контролювати.

Нарізний елемент відповідно до даного винаходу повинен бути придатний для формування трубних нарізних з'єднань, призначених для утворення колон труб, що застосовуються для видобутку вуглеводневої сировини, колон обсадних труб свердловин, колон труб для морського видобутку вуглеводнів (тобто колон типу «risers») або колон труб, призначених для аналогічного використання.

Крім того, була зроблена спроба реалізувати герметичні трубні нарізні з'єднання, зокрема, непроникні для газу, навіть при впливі механічних напружень, що циклічно змінюються.

Нарізний елемент відповідно до даного винаходу, як варіант реалізації, повинен бути придатний для формування колон бурильних труб.

Була також поставлена задача реалізувати трубне нарізне з'єднання, в якому тільки один нарізний елемент, наприклад, охоплюючий нарізний елемент, був би модифікований для того, щоб забезпечити протидію механічним впливам циклічного характеру, але який при цьому був би сумісним зі сполученим з ним нарізним елементом, що не пройшов модифікацію.

Як варіант реалізації була також поставлена задача створити трубне нарізне з'єднання, в якому були б модифіковані обидва взаємодіючих нарізних елемента для забезпечення стійкості по відношенню до механічних впливів циклічного характеру.

Відповідно до даного винаходу трубний нарізний елемент з протиутомним профілем різі, охоплюваного або охоплюючого типу, виконаний на кінці труби і містить зовнішню охоплювану різь або внутрішню охоплюючу різь, в залежності від чого даний нарізний елемент називається охоплюваний або охоплюючий.

Витки різі містять вершину профілю різі, прямолінійну робочу бокову поверхню, прямолінійну бокову поверхню заходу і дві тангенціальні з'єднувальні зони або так звані зони «донної частини западини витка

різі».

Кожна з двох тангенціальних з'єднувальних зон донної частини западини витка різі розташована між дном западини витка різі та однієї з бокових поверхонь профілю витка, названою також «відповідною боковою поверхнею», і містить дугу кола.

Щонайменше одна з двох зон тангенціального з'єднання донної частини западини витка різі, названа також «з'єднувальною зоною з численними радіусами», містить дугу кола, названу також «основною дугою кола», опорне коло якої перетинає опорну пряму відповідної бокової поверхні у так званій «опорній точці бокової поверхні», і правильну і так звану «вторинну криву», розташовану по одну і по іншу сторони від основної дуги кола, яка з'єднує дотичним чином цю основну дугу кола, з одного боку, з відповідною боковою поверхнею, а з іншого боку, з донною частиною западини витка різі. При цьому з'єднання, що не є тангенціальним, буде забезпечувати ефект піка механічних напружень, особливо несприятливого з точки зору утомленості на рівні цієї точки з'єднання.

Крім того, ця вторинна крива повинна бути правильною, тобто такою, яка не має будь-якої особливої точки, здатної створити на цьому рівні пік механічних напружень.

В опорній точці бокової поверхні дотична до опорного кола основної дуги кола, утворює позитивний гострий кут з опорною прямою відповідної бокової поверхні.

Потрібно зазначити, що позитивним напрямком є такий напрямок, в якому основна дуга кола не знімає матеріал витків різі або не входить у цей матеріал. При цьому негативний кут між дотичною та боковою поверхнею профілю буде особливо небажаним з точки зору стійкості від утомленості.

Це опорне коло основної дуги кола є дотичним або перетинаючим по відношенню до опорної прямої донної частини западини витка різі і дотична до опорного кола утворює у точці перетину або дотику, що розглядається, кут, величина якого знаходиться у діапазоні від -15° до $+15^\circ$, з опорною прямою донної частини западини витка різі.

У тому випадку, коли опорне коло основної дуги кола торкається опорної прямої донної частини западини витка різі, цей кут є нульовим і вторинна крива з боку донної частини западини витка різі перетворюється у точку.

У тому випадку, коли донна частина западини витка різі перетворюється у точку, опорна пряма цієї донної частини западини витка різі по визначенню являє собою пряму, що проходить через дно западини витка різі, яка паралельна осі нарізного елемента.

Форма та розташування основної дуги кола у будь-якій зоні з численними радіусами визначається:

- положенням опорної точки бокової поверхні профілю витка різі,
- кутом, утвореним між дотичною до опорного кола основної дуги кола та відповідною боковою поверхнею профілю витка різі,
- кутом, утвореним між дотичною до кола та донною частиною западини витка різі.

Радіус основної дуги кола у кожній зоні з численними радіусами у донній частині западини витка різі перевищує радіус так званої «дуги стандартного кола», що проходить через опорну точку бокової поверхні профілю витка різі, яка сама буде формувати зону тангенціального з'єднання між відповідною боковою поверхнею та донною частиною западини витка різі.

Таким чином, даний винахід забезпечує використання досить великого радіуса з'єднання у критичних зонах, розташованих у середині зони з'єднання, де розташована основна дуга кола, і декілька менших радіусів у з'єднанні з відповідною боковою поверхнею профілю різі і з донною частиною западини витка різі, де розташовані вторинні криві, і все це без надмірного витрачання висоти витка різі.

Для заданої висоти витка різі чим ближче опорна точка бокової поверхні витка розташована до донної частини западини цього витка, тим більшою виявляється площа бокової поверхні профілю витка, призначена для опори на відповідну бокову поверхню витка сполученого нарізного елемента, що дозволяє поліпшити статичні характеристики одержаного таким чином нарізного з'єднання.

У випадку нарізних елементів, які відповідають існуючому рівню техніки у даній області, радіальна висота зони з'єднання (тобто відстань від опорної точки бокової поверхні до дна западини витка різі) пропорційна радіусу цієї зони. Отже, для цих нарізних елементів і для заданої висоти витка різі будь-який вигравш відносно утомних характеристик (при циклічних механічних впливах) призводить до погіршення статичних характеристик.

У випадку даного винаходу і внаслідок позитивного кута між дотичною до опорного кола дуги основного кола та боковою поверхнею профілю радіальна висота зони з'єднання пропорційна радіусу дуги основного кола, але коефіцієнт цієї пропорційності виявляється тим менше, чим більше цей позитивний кут. При цьому може бути зроблена спроба поліпшити або стійкість від утомленості із заданими статичними характеристиками, або статичні характеристики із заданою часткою утомленості, або ж одночасно стійкість від утомленості і статичні характеристики.

Переважно, кут між дотичною до опорного кола основної дуги кола зони з численними радіусами та відповідною боковою поверхнею в опорній точці бокової поверхні має величину у діапазоні від $+10^\circ$ до $(70^\circ - J)$, де J означає кут нахилу відповідної бокової поверхні профілю, тобто кут між прямолінійною частиною бокової поверхні та перпендикуляром до осі трубного нарізного елемента. Кут нахилу бокової поверхні профілю витка різі вважається позитивним у тому випадку, коли бокова поверхня не намагається нависати над донною частиною западини витка різі.

Переважно, кут між дотичною до опорного кола основної дуги кола з'єднувальної зони з численними радіусами та несучою боковою поверхнею в опорній точці бокової поверхні має величину у діапазоні від $+15^\circ$ до $(45^\circ - J)$, де J має те саме визначення, що і у попередньому викладі.

Конфігурація з позитивним або нульовим кутом нахилу бокової поверхні є переважною з точки зору концентрації напружень у кореневій частині витків різі.

Переважно, радіус дуги основного кола з'єднувальної зони з численними радіусами має величину у діапазоні від 150% до 250% від радіуса дуги стандартного кола, яка буде формувати тангенціальну зону з'єднання, що проходить через опорну точку бокової поверхні.

Також переважно, щоб кожна вторинна крива з'єднувальної зони з численними радіусами являла собою дугу кола.

Переважно, щоб відношення радіуса дуги кола кожної вторинної кривої до радіуса основної дуги кола мало величину у діапазоні від 0,1 до 0,4.

Мінімальна величина цього відношення виключає надмірний підйом напружень на рівні вторинних кривих.

Максимальна величина цього відношення обмежує загальну протяжність з'єднувальної зони з численними радіусами.

Даний винахід може застосовуватися шляхом модифікації профілю витків різі або з боку тільки однієї бокової поверхні профілю витка, зокрема, робочою боковою поверхні, яка звичайно є найбільш навантаженою, або на обох бокових сторонах профілю.

Цей винахід також може застосовуватися як для витків різі, що мають профіль трикутної форми, так і для витків, що мають трапецієподібну форму профілю з фіксованою або змінною шириною, а також для конічної, циліндричної та комбінованої різі з одним або декількома ступенями.

Різні способи реалізації даного винаходу будуть представлені у подальшому викладі, але не будуть обмежувальними для даного винаходу.

Даний винахід стосується також трубного нарізного з'єднання з підвищеною стійкістю до статичних та механічних впливів, що циклічно змінюються, яке містить охоплюваний трубний нарізний елемент на кінці першої труби, що з'єднується за допомогою згвинчування з охоплюючим трубним нарізним елементом на кінці другої труби за допомогою охоплюваної різі на охоплюваному трубному нарізному елементі та охоплюючої різі на охоплюючому трубному нарізному елементі.

У цьому випадку під трубою потрібно розуміти як трубу відносно великої довжини, так і трубу відносно малої довжини, наприклад, типу муфти.

Витки різі кожної з нарізних ділянок містять вершину витка, донну частину западини витка, прямолінійну робочу бокову поверхню, прямолінійну бокову поверхню заходу та чотири зони з'єднання, кожна з яких містить дугу кола.

Серед чотирьох цих зон, кожна з двох так званих зон тангенціального з'єднання донної частини западини витка з'єднує цю донну частину западини витка з так званою відповідною боковою поверхнею, і кожна з двох так званих зон з'єднання вершини витка різі з'єднує кожну вершину витка різі з його боковою поверхнею.

Профіль та розташування кожної зони з'єднання вершини витка різі виконані таким чином, щоб не взаємодіяли з тангенціальною зоною з'єднання донної частини западини витка різі сполученого нарізного елемента.

Щонайменше один з двох нарізних елементів, охоплюваний або охоплюючий, являє собою трубний нарізний елемент з протиутомним профілем різі відповідно до даного винаходу.

Переважно і відповідно до варіанту реалізації даного винаходу щонайменше одна зона з'єднання вершини витка різі трубного нарізного елемента, розташована проти зони тангенціального з'єднання донної частини западини витка різі з численними радіусами трубного нарізного елемента із сполученим протиутомним профілем різі, являє собою так звану супроводжуючу зону, яка містить дві дуги кола, з'єднані одна з одною дотичним чином, одна з яких являє собою основну дугу кола, а інша являє собою дугу вторинного кола, причому ця остання призначена для здійснення дотичного з'єднання зони з'єднання вершини витка різі з відповідною боковою поверхнею.

Крім того, у так званій «верхній точці з'єднання» відповідної бокової поверхні, де опорне коло основної дуги кола супроводжуючої зони перетинає опорну пряму відповідної бокової поверхні, дотична до кола утворює строго негативний гострий кут з опорною прямою боковою поверхнею.

Відповідно до вищезгаданої умови такий знак кута означає, що дуга основного кола вершини витка різі проникає у матеріал витка різі.

Таке розташування дозволяє збільшити площу бокових поверхонь, що знаходяться у контакті, для заданої висоти витка цієї різі.

Відповідно до переважного варіанту реалізації даного винаходу з точки зору вартості тільки один з нарізних елементів, охоплюваний або охоплюючий, являє собою нарізний елемент з протиутомним профілем різі відповідно до даного винаходу, сумісний з іншим нарізним елементом, який являє собою звичайний нарізний елемент, виконаний відповідно до існуючого рівня техніки у даній області.

Відповідно до іншого переважного варіанту реалізації даного винаходу з точки зору одержання максимально сприятливих характеристик, обидва нарізних елемента, охоплюваний і охоплюючий, являють собою нарізні елементи з протиутомним профілем різі відповідно до даного винаходу.

Відповідно до іншого варіанту реалізації трубне нарізне з'єднання відповідно до даного винаходу застосовується до так званих взаємодіючих різей, в яких вершина витка однієї різі взаємодіє у радіальному напрямку з донною частиною западини витка сполученої різі.

Відповідно до ще одного варіанту реалізації трубне нарізне з'єднання відповідно до даного винаходу застосовується до різей, в яких обидві бокові поверхні кожного витка різі знаходяться у механічному контакті, з наявністю або без наявності контактного тиску, з двома боковими поверхнями відповідного витка сполученої різі на щонайменше частині довжини цих нарізних ділянок. Таким чином, даний винахід застосовується також до так званих витків різі типу «rugged thread» з осьовим стягуванням або з клином змінної ширини.

Інші характеристики та переваги даного винаходу будуть краще зрозумілі з наведеного нижче його докладного опису та прикладених креслень, які можуть служити не тільки для кращого розуміння цього винаходу, але також можуть робити, у разі необхідності, свій внесок у визначення цього винаходу.

Всі креслення являють собою схематичні вигляди у половинному подовжньому розрізі, виконаному по площині, що проходить через вісь нарізного елемента або нарізного з'єднання.

- На фіг.1 зображений вигляд муфтового нарізного з'єднання між двома трубами за допомогою конічної різі,

- На фіг.2 зображений вигляд так званого інтегрального нарізного з'єднання між двома трубами за допомогою конічної різі, розташованої в два ступеня,

- На фіг.3А зображений вигляд декількох витків трапецієподібної різі охоплюючого нарізного елемента

відповідно до існуючого рівня техніки у даній області,

- На фіг.3B, 3C, 3D та 3E зображені вигляди зон з'єднання між поверхнями витків різі, показаної на фіг.3A,

На фіг.4A зображений вигляд декількох трапецієподібних витків різі охоплюваного нарізного елемента відповідно до даного винаходу,

- На фіг.4B, 4C, 4D та 4E зображені вигляди зон з'єднання між поверхнями витків різі, показаної на фіг.4A,

- На фіг.4F та 4G зображені вигляди однієї з деталей вигляду, показаної на , фіг.4B,

- На фіг.5A зображений вигляд декількох трапецієподібних витків нарізного з'єднання відповідно до даного винаходу, утвореного з'єднанням нарізних елементів, показаних на фіг.3A та 4A,

- На фіг.5B зображений вигляд деталі нарізного з'єднання, показаної на фіг.5A, на рівні зон з'єднання, показаних на фіг.3C та 4B,

- На фіг.6A зображений вигляд декількох трапецієподібних витків у варіанті реалізації охоплюючого нарізного елемента відповідно до даного винаходу,

- На фіг.6B, 6C та 6E зображені види зон з'єднання між поверхнями витків різі, показаної на фіг.6A,

- На фіг.7A зображений вигляд декількох трапецієподібних витків у варіанті реалізації охоплюваного нарізного елемента відповідно до даного винаходу,

- На фіг.7B, 7C, 7D та 7E зображені види зон з'єднання між поверхнями витків різі, показаної на фіг.7A,

- На фіг.8A зображений вигляд декількох трапецієподібних витків у варіанті реалізації нарізного з'єднання відповідно до даного винаходу, утвореного з'єднанням нарізних елементів, показаних на фіг.6A та 7A,

- На фіг.8B зображений вигляд деталі нарізного з'єднання, показаної на фіг.6A, на рівні зон з'єднання, показаних на фіг.6C та 7B,

- На фіг.8C зображений, вигляд деталі нарізного з'єднання, показаної на фіг.8A, на рівні зон з'єднання, показаних на фіг.6B та 7C,

- На фіг.9A зображений вигляд декількох трикутних витків різі відповідно до іншого варіанту реалізації охоплюючого нарізного елемента відповідно до даного винаходу,

- На фіг.9B та 9C зображені вигляди зон з'єднання між боковими поверхнями витків різі, показаної на фіг.9A,

- На фіг.10A зображений вигляд декількох трикутних витків різі відповідно до іншого варіанту реалізації охоплюваного нарізного елемента відповідно до даного винаходу,

- На фіг.10B та 10C зображені вигляди зон з'єднання між боковими поверхнями витків різі, показаної на фіг.10A,

- На фіг.11A зображений вигляд декількох витків різі відповідно до іншого варіанту реалізації нарізного з'єднання відповідно до даного винаходу, утвореного з'єднанням нарізних елементів, показаних на фіг.9A та 10A,

- На фіг.11B зображений вигляд деталі нарізного з'єднання, показаної на фіг.11A, на рівні зон з'єднання, показаних на фіг.9C та 10B,

- На фіг.11C зображений вигляд деталі нарізного з'єднання, показаної на фіг.11A, на рівні зон з'єднання, показаних на фіг.9B та 10C,

- На фіг.12 зображений графік, що показує зміну відношення радіуса дуги основного кола до радіуса стандартного кола зони з'єднання у функції кута в опорній точці бокової поверхні для різних значень кута у точці з'єднання донної частини западини витка різі,

- На фіг.13 зображений той самий графік, але для різних значень кута нахилу робочої бокової поверхні,

- На фіг.14 зображений графік, що показує зміну основного механічного напруження у функції кутового положення на зоні з'єднання між донною частиною западини витка різі та робочої бокової поверхні у трубному нарізному з'єднанні, що зазнає впливу внутрішнього тиску деякого текучого середовища.

На фіг.1 представлений схематичний вигляд у подовжньому розрізі муфтового нарізного з'єднання 200, виконаного між двома трубами великої довжини 101 та 101'.

У цьому випадку під трубами великої довжини потрібно розуміти труби, довжина яких становить декілька метрів і досягає, наприклад, порядку 10м.

Такі труби звичайно з'єднуються одна з одною для того, щоб сформувати, наприклад, колони обсадних труб, або колони експлуатаційних труб, або колони труб типу «risers», призначених для наземних або морських свердловин видобутку вуглеводневої сировини, або колони бурильних труб, призначених для буріння таких свердловин.

Ці труби можуть бути виготовлені з різних типів сталі, зовсім нелегованої, слабо легованої або сильно легованої, і навіть з інших залісистих або незалісистих сплавів, для того, щоб ці труби були належним чином адаптовані до різних умов експлуатації, таких, наприклад, як рівень зовнішніх механічних впливів або корозійний характер внутрішнього або зовнішнього по відношенню до цих труб текучого середовища.

У цьому випадку можна також використовувати труби, виготовлені зі сталі, менш стійкої до корозії, але які містять відповідне покриття, виконане, наприклад, з синтетичного матеріалу, що виключає контакт між сталлю та корозійним текучим середовищем.

Труби 101 та 100' містять на своїх кінцях ідентичні охоплювані нарізні елементи 1, 1' і з'єднані один з одним за допомогою з'єднувальної муфти 202, що містить на кожному з своїх кінців охоплюючий нарізний елемент 2, 2'.

Охоплювані нарізні елементи 1, 1' з'єднані за допомогою згвинчування відповідно з охоплюючими нарізними елементами 2, 2', утворюючи при цьому два симетричних нарізних з'єднання 100, 100', зв'язаних за допомогою обмежувального виступу 10, що має довжину, яка становить декілька сантиметрів.

Цей обмежувальний виступ 10 з'єднувальної муфти має внутрішній діаметр, по суті ідентичний внутрішньому діаметру труб 101, 101', таким чином, щоб не спричиняти збурення потоку текучого середовища, який проходить всередині цих труб.

Оскільки нарізні з'єднання 100, 100' є симетричними, у подальшому викладі буде описано функціонування тільки одного з цих з'єднань.

Як можна побачити на фіг.1, різі представлені тут твірними або обвідними вершин та донних частин западин витків різі.

Охоплюваний нарізний елемент 1 містить охоплювану різь 3, виконану відповідно до специфікації API 5B, яка є конічною з трикутним або трапецієподібним профілем витка різі і розташовану на зовнішній поверхні охоплюваного нарізного елемента. Охоплювана різь 3 відділена від вільного кінця 7 цього елемента за допомогою кромки 11, яка не містить різі. Вільний кінець 7 має кільцеву і по суті поперечну поверхню.

Біля вільного кінця 7 на зовнішній поверхні кромки 11 розташована опорна конічна поверхня 5, конусність якої перевищує конусність охоплюваної різі 3.

Охоплюючий елемент 2 містить засоби, сполучені із засобами охоплюваного елемента 1, тобто засоби, яким вони відповідають за формою і які за їх розташуванням призначені для взаємодії з охоплюваними засобами.

Охоплюючий елемент 2 містить також, всередині своєї охоплюючої конічної нарізної частини 4, частину, яка не містить різі і яка розташована між нарізною частиною та обмежувальним виступом 10.

Ця частина, що не має різі, містить, зокрема, по суті поперечну кільцеву поверхню орієнтації 8, утворюючи круговий уступ на кінці обмежувального виступу, і конічну опорну поверхню 6, що продовжує цей уступ.

З'єднання виконане шляхом загвинчування охоплюваного елемента 1 в охоплюючий елемент 2.

Загвинчування охоплюваної різі в охоплюючу різь припиняється після того, як поперечні поверхні 7 та 8 увійдуть в упорний контакт одна з одною. Опорні поверхні 5 та 6 передбачені для того, щоб взаємодіяти одна з одною у радіальному напрямку і знаходяться внаслідок цього під тиском контакту металу з металом. Опорні поверхні 5 та 6 формують таким чином, що опорні поверхні герметизації роблять дане нарізне з'єднання герметичним навіть при високому тиску внутрішнього або зовнішнього текучого середовища.

Якщо у цьому випадку небажано мати надійну герметичність з'єднання, можна усунути обмежувальний виступ 10, тобто поперечну поверхню упора 8 і конічні опорні поверхні 5 та 6.

Як варіант реалізації нарізне з'єднання двох труб великої довжини може здійснюватися безпосередньо, як це проілюстровано на фіг.2. Цей тип з'єднання, в якому використовується тільки одне нарізне з'єднання, називається інтегральним.

Одна труба 301 забезпечена на одному зі своїх кінців охоплюваним нарізним елементом 1, а друга труба 302 забезпечена на відповідному її кінці охоплюючим нарізним елементом 2.

Охоплюваний нарізний елемент 1 містить зовнішню охоплювану різь, утворену у цьому випадку двома циліндричними ступенями або уступами 303, 303' з витками трикутного, круглого або трапецієподібного профілю, відділеними один від одного поперечним кільцевим виступом 307, причому ступінь меншого діаметра 303' розташований з боку вільного кінця 309' даного елемента, вільний кінець 309' якого представляє поперечну кільцеву поверхню.

У просторі між нарізною частиною 303' та кінцевою поверхнею 309' із зовнішньої сторони розташована конічна опорна поверхня 311'.

З протилежної сторони на охоплюваному елементі нарізна частина 303 продовжується частиною, яка не має різі і яка містить конічну опорну поверхню 311 і поперечну кільцеву поверхню 309, яка утворює круговий виступ.

Охоплюючий нарізний елемент 2 містить зі своєї внутрішньої сторони охоплюючі засоби, сполучені з охоплюваними засобами.

Охоплюючий нарізний елемент 2 містить, таким чином, охоплюючу різь, утворену двома циліндричними ступенями 304, 304', відділеними один від одного поперечним кільцевим виступом 308, причому ступінь більшого діаметра 304 розташований з боку поперечного кільцевого вільного кінця 310 охоплюючого елемента.

Цей охоплюючий елемент додатково містить дві конічні опорні поверхні 312, 312', відповідні охоплюваним опорним поверхням 311, 311', і кільцеву поперечну поверхню 310', яка утворює кінцевий виступ на кінці елемента, який протилежний його вільному кінцю 310.

У згвинченому стані даного нарізного з'єднання охоплювані нарізні частини 303, 303' загвинчені відповідно в охоплюючі нарізні частини 304, 304' і центральні виступи 307, 308 упираються один в один. Поперечні кінцеві поверхні 309, 309' знаходяться у можливому контакті з кінцевими поперечними поверхнями відповідних виступів 310, 310' і утворюють допоміжні упори, що доповнюють основні упори 307, 308.

Охоплювані опорні поверхні 311, 311' взаємодіють у радіальному напрямку відповідно з охоплюючими опорними поверхнями 312, 312', забезпечуючи високий контактний тиск металу з металом, що здатні герметизувати дане нарізне з'єднання по відношенню до зовнішніх або внутрішніх текучих середовищ.

Як варіанти реалізації, не показані на наведених у додатку фігурах, муфтове нарізне з'єднання може містити циліндричну різь, а інтегральне нарізне з'єднання може містити конічну різь.

Кожна з нарізних ділянок також може мати дві конічні різі з різною конусністю або циліндроконічного типу, причому нарізні частини однієї і тієї самої різі можуть бути ступінчастими або не містити ступенів.

На подальших фігурах представлені декілька варіантів реалізації витків різі трубних нарізних елементів, призначених для трубних нарізних з'єднань, що забезпечують протидію як статичним, так і механічним впливам, що циклічно змінюються.

На фіг.3А показаний виток 12 внутрішньої конічної охоплюючої різі 4 охоплюючого трубного нарізного елемента 2, показаного на фіг.1.

Охоплюючі витки 12 різі мають трапецієподібний профіль і містять чотири прямолінійні сторони, а саме, вершину профілю 20, дно западини профілю 18 і дві бокові сторони: робочу бокову сторону 14 і бокову сторону заходу 16.

У представленому тут випадку вершини і донні частини западин профілю різі нахилені під кутом С по відношенню до осі даного нарізного елемента. Цей кут С являє собою кут конуса різі. Висота профілю витка різі є постійною на кожній боковій стороні.

Можна також поперемінним чином мати на конічній різі вершини і донні частини западин профілю,

розташовані паралельно осі даного нарізного елемента, але при цьому висота профілю витка різі буде більшою зі сторони боковій поверхні заходу, чим з боку робочої бокової поверхні для того, щоб різь була конічною.

Бокова поверхня заходу 16 являє собою бокову поверхню, яка першою торкається відповідної бокової поверхні сполученої різі у тому випадку, коли охоплюваний і охоплюючий нарізні елементи загвинчують один в іншій. Бокова поверхня заходу розташована на профілі витка різі з боку вільного кінця даного нарізного елемента.

Робоча бокова поверхня 14 профілю розташована, таким чином, з боку, протилежного вільному кінцю даного нарізного елемента.

Ця робоча бокова поверхня 14 утворює кут А з перпендикуляром до осі нарізного елемента і бокова поверхня заходу утворює кут В з тим самим перпендикуляром.

У цьому випадку кути А та В визначаються як позитивні за наведеним вище визначенням внаслідок того, що відповідні бокові поверхні 14 та 16 не нависають над донною частиною западини 18 профілю різі.

Бокові поверхні з'єднані з вершиною і донною частиною западини профілю різі за допомогою чотирьох тангенціальних з'єднувальних зон 22, 32, 42, 52, кожна з яких утворена звичайною дугою кола, як це показано на фіг.3В, 3С, 3Д та 3Е.

З'єднувальні зони 22 і 52, що відповідно мають радіуси r_{2fp} і r_{2fe} , являють собою зони тангенціального з'єднання донної частини западини профілю різі, тоді як зони 32 і 42, що мають радіуси r_{2sp} і r_{2se} , являють собою зони з'єднання вершини профілю різі.

Кваліфікація як тангенціальних для цих зон з'єднання 22, 32, 42, 52 відображає той факт, що дуга кола, за допомогою якої утворені ці зони, є тангенціальною або дотичною на своїх кінцях по відношенню до поверхонь, які ця дуга з'єднує. Це виключає наявність будь-якої кутастості, здатної створити пік концентрації механічних напружень у тому випадку, коли ці зони зазнають механічних впливів.

На фіг.4А зображений профіль витка 11 зовнішньої охоплюваної конічної різі 3 охоплюваного трубного нарізного елемента 1, показаного на фіг.1.

Як і профіль охоплюючого витка 12, профіль охоплюваного витка 11 має трапецієподібну форму і містить чотири прямолінійні сторони, а саме, вершину профілю 17, донну частину западини профілю 19 і дві бокові сторони: робочу бокову сторону 13 та бокову сторону заходу 15.

Охоплювані витки різі 11 виконані таким чином, щоб вони загвинчувалися в охоплюючу різь 12. Вершини і донні частини западин профілю охоплюваної різі нахилені, наприклад, на той самий кут С, що і вершини і донні частини западин профілю охоплюючої різі. Кут нахилу А робочої бокової поверхні і кут нахилу В бокової поверхні заходу профілю охоплюваної різі 11 ідентичні відповідним кутам нахилу профілю охоплюючої різі 12.

Бокові поверхні з'єднані з вершиною і донною частиною западини профілю різі за допомогою чотирьох тангенціальних з'єднувальних зон 21, 31, 41, 51.

Тангенціальні з'єднувальні зони вершини профілю 31, 41 і донної частини западини профілю 51 утворені простими дугами кола, що мають відповідно радіуси r_{1sp} , r_{1se} і r_{1fe} , і представлені на фіг.4С, 4Д та 4Е.

Тангенціальна з'єднувальна зона 21 донної частини западини профілю витка різі, розташована між донною частиною западини профілю і його робочою боковою поверхнею, утворена декількома послідовно розташованими дугами кола, що мають різні радіуси, і дотичними між собою.

Ця з'єднувальна зона 21, показана на фіг.4В, 4F та 4G, внаслідок згаданої вище обставини називається зоною «з численними радіусами».

Ця зона з численними радіусами 21 містить у своїй середній частині дугу кола, названу «основною дугою кола» 23, що має радіус r_{p1} і дугу кола, названу «вторинною дугою кола» і розташовану з кожної сторони від цієї основної дуги кола, а саме, першу вторинну дугу кола 25, розташовану з боку робочої бокової поверхні 13, що має радіус r_{s1} і дотичну до цієї робочої бокової поверхні, і другу вторинну дугу кола 27, розташовану з боку донної частини западини профілю витка 19, що має радіус r_{t1} і дотичну до цієї донної частини западини профілю різі.

Опорне коло основної дуги кола 23 перетинає опорну пряму робочої бокової поверхні 13 у точці P_{RF1} , яку називають «опорною точкою бокової поверхні» без проходження вздовж цієї опорної прямої.

Таким чином, у цій точці P_{RF1} існує деякий кут D між дотичною 61 до опорного кола основної дуги кола 23 і опорною прямою робочої бокової поверхні 13 профілю різі. Цей кут D є строго позитивним на основі визначення знаку кута, що використовується тут, відповідно до якого такий кут є позитивним у тому випадку, коли основна дуга кола не входить у матеріал витка різі. Внаслідок цього дотична 61 є внутрішньою у витку різі 11 по відношенню до опорної прямої робочої бокової поверхні профілю витка різі.

Опорне коло основної дуги кола 23 перетинає опорну пряму бокової поверхні профілю витка 19 у точці P_{RF1} без проходження вздовж цієї опорної прямої.

Таким чином, дотична 63 до опорного кола основної дуги кола 23 у точці P_{RF1} утворює деякий трохи позитивний кут E з опорною прямою бокової поверхні профілю витка 19.

Було встановлено, що для нормального функціонування нарізного з'єднання потрібно обмежити величину кута E у діапазоні від $+15^\circ$ до -15° , додавши йому величину, наприклад, 10° , причому відповідно до визначення знаків, що використовується, у цьому випадку негативна величина кута відповідає основній дузі кола, що входить у матеріал різі або, швидше у матеріал донної частини западини профілю різі, як у цьому випадку.

Та обставина, що положення точки P_{RF1} на робочій боковій поверхні 13 профілю витка різі, а також величини кутів D та E, є фіксованими, дозволяє точно визначити величину радіуса r_{p1} основної дуги кола 23.

У тому випадку, коли конусність різі є невеликою (тобто величина кута С становить усього декілька градусів) і коли робоча бокова поверхня 13 профілю витка різі є по суті перпендикулярною до донної частини западини профілю витка різі 19, величина радіуса r_{p1} є близькою до подвоєної величини радіуса r_{n1} деякого гіпотетичного кола 29, яке назване «стандартним колом» і яке проходить через точку P_{RF1} , причому це коло одне буде утворювати тангенціальну зону з'єднання між робочою боковою поверхнею та донною частиною западини профілю витка різі. Це означає, що стандартне коло 29, що проходить через точку P_{RF1} ,

одночасно є дотичним до донної частини западини профілю витка різі 19 і до його робочої бокової поверхні 13.

Фактором, що впливає найбільшою мірою на величину відношення (r_{p1}/r_{H1}), беручи до уваги допустимі зміни, є величина кута D.

У тому випадку, коли кут D є дуже малим і становить, наприклад, менше 10° , величина відношення (r_{p1}/r_{H1}) ледве перевищує 1 і, отже, її вплив на стійкість від утомленості виявляється обмеженим. Таким чином, потрібно вибирати величину кута D, що перевищує 10° і переважно, що перевищує 15° .

Дуже велика величина кута D може призвести до геометричної несумісності у випадку витків різі з робочими боковими поверхнями, сильно нахиленими у позитивному напрямку. Саме тому з верхньої сторони величину кута D обмежують значенням (70° -A) і переважно значенням (45° -A).

Крім того, велика величина кута D, у випадку сильно позитивного кута A, спричиняє за собою великі значення відношення (r_{p1}/r_{H1}), які вимагають використання вторинних дуг кіл малого радіуса, які є джерелами небажаних піків механічних напружень в експлуатації на рівні дуг 25 та 27.

Саме тому величини кутів D та E потрібно вибирати швидше з урахуванням величин кутів A та C для того, щоб величини відношення (r_{p1}/r_{H1}) знаходилися у діапазоні від 1,5 до 2,5. У випадку, що розглядається тут $E=10^\circ$ і $D=30^\circ$.

Вторинні дуги кіл 25 та 27 мають радіуси відповідно r_{s1} і r_{T1} які менше, ніж радіус r_{p1} .

Це не є заважаючим фактором для експлуатаційної стійкості нарізних з'єднань, оскільки було встановлене, що найбільш навантаженою і, отже, найбільш критичною частиною зони з'єднання донної частини западини профілю витка різі є середня частина основної дуги кола 23 в основі різі і з боку робочої бокової поверхні профілю цього витка.

Дійсно, у нарізних з'єднаннях, що зазнають впливу розтяжних зусиль значної інтенсивності, але такої, що змінюється, звичайно спостерігається поява тріщин від утомленості, які виникають у середній частині зони з'єднання донної частини западини профілю витка різі з боку робочої бокової поверхні профілю, який приймає на себе зусилля розтягування, що впливають на нарізні елементи.

Дуже малий радіус вторинної дуги кола може, проте, забезпечити виникнення вторинного піка механічних напружень на рівні дуг 25 або 27, який здатний, як друга спонукальна причина, призвести до виникнення тріщин від утомленості у процесі експлуатації.

Дуже великий радіус вторинної дуги може призвести до формування дуг 25 або 27 дуже великих відносних розмірів, особливо у тому випадку, коли радіус r_{p1} є досить великим.

Переважно, величину відношення r_{s1}/r_{p1} вибирають у діапазоні від 0,1 до 0,4.

На фіг.5A зображений охоплюваний виток різі 11, показаний окремо на фіг.4A, і охоплюючий виток різі 12, показаний окремо на фіг.3A, одночасно в охоплюваному і охоплюючому нарізних елементах 1 та 2, з'єднаних між собою шляхом згинчування для того, щоб утворити трубне нарізне з'єднання типу з'єднання 100, показаного на фіг.1.

Витки різі 11 та 12, показані на фіг.5A, є так званими взаємодіючими, оскільки вершина 20 профілю витка однієї з різей, у цьому випадку охоплюючої різі, взаємодіє у радіальному напрямку з донною частиною западини 19 профілю витка сполученої різі, у цьому випадку охоплюваної різі.

Робочі бокові поверхні профілів витків охоплюваної і охоплюючої різі 13, 14 також знаходяться у взаємному контакті і зазнають впливу зусиль осьового розтягування, виникаючих під дією власної ваги труб, що утворюють колону, і, у випадку нарізних з'єднань показаного на фіг.1 типу, також зусиль, виникаючих внаслідок упора одна в одну поперечних поверхонь 7, 8 при створенні моменту згинчування на рівні у декілька кН.м.

Тут потрібно зазначити, що аналогічні зусилля забезпечуються у процесі входження у взаємний упор виступів 307, 308, показаних на фіг.2.

Знову повертаючись до фіг.5A, потрібно зазначити, що деякий зазор передбачений між вершиною охоплюваного витка різі 17 і донною частиною западини охоплюючого витка різі 18, а також між боковими поверхнями заходу 15, 16.

Ці зазори обмежують також небезпеку взаємодії між з'єднувальними зонами охоплюваної і охоплюючої різі, наприклад, взаємодії у сполучених парах з'єднувальних зон 31/22, 41/52 і 51/42, навіть для ідентичних радіусів між сполученими з'єднувальними зонами.

Радіус r_{2sp} з'єднувальної зони 32 вершини профілю витка охоплюючої різі з боку робочої бокової поверхні вибирається досить великим для того, щоб не взаємодіяти із з'єднувальною зоною з численними радіусами 21.

Будь-яка взаємодія між цими зонами 21 та 32 буде викликати ефект піка механічних напружень і неприйнятний ступінь ризику руйнування у процесі експлуатації.

Використання з'єднувальної зони 21 з численними радіусами у донній частині западини витка охоплюваної різі з боку робочої бокової поверхні профілю дозволяє збільшити радіус критичної частини найбільш навантаженої зони тангенціального з'єднання, якщо фіксується вихідна точка зони тангенціального з'єднання на робочій боковій поверхні профілю (дивися наведений вище аналіз величин відношення r_{p1}/r_{H1}).

Можна також зафіксувати мінімальну величину радіуса основної дуги кола і проаналізувати виграш на робочій поверхні витків різі і, отже, на статичних характеристиках нарізного з'єднання. Правильно, що цей виграш частково зменшується внаслідок використання єдиного радіуса r_{2sp} на сполученому охоплюючому з'єднанні (див. фіг.5B).

Проте потрібно зазначити, що у цьому випадку було необхідно модифікувати, по відношенню до існуючого стану техніки у даній області, тільки одну з'єднувальну зону і тільки на одному нарізному елементі, а саме, на охоплюваному елементі у цьому випадку.

Точно так само можна модифікувати один тільки охоплюючий нарізний елемент. У цьому випадку можна використати труби 101, які містять охоплювані нарізні елементи 1, виготовлені відповідно до існуючого рівня техніки у даній області, і забезпечувати тільки нарізні муфти 202 модифікованою охоплюючою різзю, що містить з'єднувальну зону з численними радіусами між донною частиною западини профілю витка різі та його робочою боковою поверхнею.

І нарешті, потрібно підкреслити, що витки різі, що містять з'єднувальні зони з численними радіусами, не є складнішими з точки зору їх механічної обробки або контролю, чим стандартні витки різі, які виконані відповідно до існуючого рівня техніки у даній області і які мають з'єднувальні зони з єдиним радіусом закруглення: у цьому випадку механічна обробка здійснюється за допомогою інструмента відповідної форми і контроль реалізовується звичайним чином шляхом накладення на виготовлену різь двох калібрів, механічно оброблених для двох границь допуску на виготовлення (так званий контроль типу «overlay»).

На фіг.6А представлений виток охоплюючої різі 12, що має трапецієподібний профіль, в основному подібний профілю різі, показаної на фіг.3А.

Проте, ця різь містить, у порівнянні з різзю, показаною на фіг.3А, відмінності, які стосуються двох з'єднувальних зон з боку робочої бокової поверхні профілю, а саме, зони 22 донної частини западини профілю витка різі і зони 32 вершини профілю витка різі, причому обидві ці з'єднувальні зони являють собою зони з численними радіусами.

З'єднувальна зона 22 детально представлена на фіг.6В.

Ця зона містить основну дугу кола 24 і одну вторинну дугу кола 26, дотичну з одного боку по відношенню до основної дуги кола і з іншого боку по відношенню до робочої бокової поверхні 14. Основна дуга кола тангенціально приєднана до донної частини западини витка різі 18 таким чином, щоб не було необхідності передбачати другу вторинну дугу кола для того, щоб здійснити з'єднання на цьому рівні.

Основна дуга кола 24 перетинає робочу бокову поверхню 14 у точці P_{RF2} і дотична 62 до опорного кола основної дуги кола 24 у точці P_{RF2} утворює кут D, точно позитивний, з опорною прямою робочої бокової поверхні 14.

У цьому випадку також використовується вже згадуване вище визначення знаку кута.

На фіг.4В кут D має величину $+30^\circ$.

Внаслідок тієї обставини, що цей кут D є позитивним, радіус r_{p2} основної дуги кола 24 перевищує радіус r_{n2} стандартної дуги кола 30, яка одна утворює тангенціальну з'єднувальну зону між робочою боковою поверхнею 14 та донною частиною западини витка різі 18.

Величина відношення r_{p2}/r_{n2} знаходиться у залежності від тих самих умов, які були описані вище для з'єднання 21, показаного на фіг.4В, причому даний випадок являє собою окремий випадок, в якому кут E дорівнює нулю.

Вторинна дуга кола 26 має радіус r_{s2} , який менший, ніж радіус основної дуги кола, за міркуваннями, вже описаними вище для випадку, показаного на фіг.4В.

З'єднувальна зона 32 вершини профілю витка різі детально представлена на фіг.6С.

Ця зона містить основну дугу кола 34 і одну вторинну дугу кола 36, причому ця дуга кола є дотичною з одного боку по відношенню до основної дуги кола 34, з іншого боку по відношенню до робочої бокової поверхні 14.

Опорне коло основної дуги кола 34 перетинає робочу бокову поверхню профілю у точці P_{RH2} або в так званий «верхній точці з'єднання».

Дотична 66 у точці P_{RH2} до основної дуги кола 34 утворює кут H з робочою боковою поверхнею 14 профілю.

Цей кут H є негативним відповідно до визначення знаку кута, що використовується у даному документі. Це означає, що основна дуга кола 34 входить у матеріал витка 12 різі або «закусує» цей матеріал.

Переважає такої конфігурації для з'єднувальної зони 32 полягає у тому, що, маючи ідентичний радіус, вона забезпечує розташування точки P_{RH2} ближче до вершини профілю, чим у разі з'єднання типу 42 (див. фіг.6В), утвореного єдиною дугою кола.

Якщо необхідно, можна забезпечити тангенціальне з'єднання способом, не представленим на фіг.6С, зони 32 з вершиною профілю різі за допомогою іншої вторинної дуги кола.

Крім того, радіус r_{p6} основної дуги кола 34 при необхідності може бути нескінченним, причому у цьому випадку дуга 34 стає відрізком прямої.

Радіус r_{s6} вторинної дуги кола 36 у будь-якому випадку має величину, меншу, ніж величина радіуса r_{s6} основної дуги кола 34. Те саме буде мати місце і для іншої вторинної дуги кола з боку вершини профілю витка різі.

На фіг.7А представлений профіль витка охоплюваної різі 11, що має у цілому трапецієподібну форму, подібну формі, показаній на фіг.4А.

Ця різь має форму профілю, пристосовану для загвинчування в охоплюючу різь 12, показану на фіг.6А.

Як і у випадку, представленою на фіг.6А, тут з'єднувальні зони 41 та 51 з боку бокової поверхні заходу виконані у вигляді дуг кола з єдиним радіусом (див. фігури 6D та 6E), тоді як з'єднувальні зони 21 та 31 з боку робочої бокової поверхні являють собою зони з численними радіусами.

Оскільки у цьому випадку зона 21 тангенціального з'єднання донної частини западини профілю різі (див. фіг.7С) подібна з'єднувальній зоні 21, показаній на фіг.4А, за винятком того, що у цьому випадку кут E дорівнює нулю, відпадає необхідність у використанні вторинної дуги кола для з'єднання основної дуги кола 23 з донною частиною западини профілю витка різі 19: в результаті зона 21 повністю відповідає зоні 22, показаній на фіг.6В. Зокрема, тут кут D дорівнює $+30^\circ$.

З'єднувальна зона 31 вершини профілю витка різі (див. фіг.7В) також є подібною і повністю відповідає з'єднувальній зоні 32, показаній на фіг.6С.

На фіг.8А представлений профіль витка охоплюваної різі 11, показаний на фіг.7А, і профіль витка охоплюючої різі 12, показаний на фіг.6А, одночасно для нарізних елементів 1 та 2, з'єднаних між собою за допомогою згвинчування для утворення трубного нарізного з'єднання типу з'єднання 100, показаного на фіг.1.

Витки різі 11, 12, показані на фіг.8А, являють собою витки взаємодіючого типу, як і витки, показані на фіг.3А: в цьому випадку тільки вершини охоплюючих витків 20 знаходяться у контакті при певному контактному тиску з донними частинами западин профілю охоплюваної різі 19, а також у контакті знаходяться робочі бокові поверхні профілів 13 та 14 охоплюваної і охоплюючої різі.

На фіг.8В та 8С представлено відносне розташування з'єднувальних зон з численними радіусами 21, 32, 31, 22 у складеному стані даного нарізного з'єднання. Внаслідок модифікації з'єднання на вершині

профілю витка різі робочі бокові поверхні 13, 14 охоплюваної і охоплюючої різі можуть бути розташовані на більшій площі, ніж у випадку, показаному на фіг.5А, і можуть, таким чином, витримувати більш значні статичні навантаження на розтягування.

Крім того, оскільки у цьому випадку охоплюваний і охоплюючий нарізні елементи, обидва були модифіковані, стійкість від утомленості даного нарізного з'єднання не обмежується стійкістю від утомленості немодифікованого нарізного елемента, як це мало місце у випадку, показаному на фіг.3А.

Проте такий тип нарізного з'єднання вимагає забезпечення охоплюваного і охоплюючого нарізних елементів модифікованою різзю з протиутомним профілем.

На фіг.9А представлений профіль витка 12 охоплюючої різі трикутної форми охоплюючого трубного нарізного елемента 2, показаного на фіг.1. Профіль витка 12 охоплюючої різі містить:

- вершину витка S2,
- донну частину западини витка F2,
- робочу бокову поверхню профілю 14, яка утворює кут А з перпендикуляром до осі нарізного елемента 2,
- бокову поверхню заходу профілю 16, яка утворює кут В з перпендикуляром до осі нарізного елемента 2.

Кожний з кутів А та В має величину 30° , як про це згадано у специфікації API 5В.

Визначення робочої бокової поверхні та бокової поверхні заходу тут є таким самим, як і наведене вище в описі.

Оскільки тут різь 4 є конічною, лінія, що з'єднує вершини профілю різі, і лінія, що з'єднує донні частини западин профілю різі, утворює кут С з віссю даного нарізного елемента.

Бокові поверхні 14, 16 з'єднані з вершиною профілю S2 і донною частиною западини профілю F2 різі за допомогою тангенціальних з'єднувальних зон 22, 32, 42, 52.

З'єднувальні зони 32, 42 вершини профілю є симетричними одна одній по відношенню до перпендикуляра до осі нарізного елемента, що проходить через вершину профілю S2. Обидві ці зони утворені єдиною дугою кола, що має радіус r_{2s} (див. фіг.9С).

З'єднувальні зони 22, 52 донної частини западини профілю різі не є симетричними одна одній по відношенню до перпендикуляра до осі нарізного елемента, що проходить через донну частину западини профілю F2, але ці з'єднувальні зони мають численні радіуси (див. фіг.9В).

З'єднувальна зона 22 містить основну дугу кола 24, що має радіус r_{p2} , яка у точці F2 торкається опорної прямої донної частини западини витка різі. Опорне коло основної дуги кола 24 перетинає у точці R_{RF2} опорну пряму робочої бокової поверхні 14.

На основі умов, вже згадуваних раніше, опорну пряму донної частини западини профілю різі у випадку трикутної різі визначають як пряму, що паралельна осі даного нарізного з'єднання і що проходить через донну частину западини F2 профілю різі.

У точці R_{RF2} дотична 62 до основної дуги кола 24 утворює позитивний кут D з робочою боковою поверхнею 14. Цей кут D має величину, наприклад, 30° .

З'єднувальна зона 22 містить також вторинну дугу кола 26, що має радіус r_{s2} , один кінець якої є дотичним до кінця основної дуги кола 24, а інший її кінець є дотичним до робочої бокової поверхні 14.

Радіус r_{p2} основної дуги кола 24 внаслідок цього перевищує радіус r_{n2} не позначеного тут стандартного кола, дотичного у точці R_{RF2} до робочої бокової поверхні профілю і у точці F2 до опорної прямої донної частини западини профілю різі і забезпечує таким чином протиутомні характеристики для з'єднання донної частини западини профілю різі з робочою боковою поверхнею.

Радіус r_{s2} має величину, меншу, ніж радіус r_{p2} , і його величина переважно знаходиться у діапазоні від 0,1 до 0,4 від величини радіуса r_{p2} .

З'єднувальна зона 52 містить основну дугу кола 54, що має радіус r_{p4} , яка є дотичною у точці F2 до опорної прямої донної частини западини профілю різі. Опорне коло цієї основної дуги 54 перетинає у точці R_{RF4} опорну пряму бокової поверхні заходу 16.

У точці R_{RF4} дотична 68 до основної дуги кола 24 утворює позитивний кут F з боковою поверхнею заходу 16. Цей кут F має величину, наприклад, 15° .

З'єднувальна зона 52 містить також вторинну дугу кола 56, що має радіус r_{s4} , один кінець якої є дотичним по відношенню до кінця основної дуги кола 54, а інший кінець цієї дуги є дотичним по відношенню до бокової поверхні заходу 16.

Радіус r_{p4} основної дуги кола 54 внаслідок цього перевищує радіус r_{n4} , не позначеного тут стандартного кола, дотичного у точці R_{RF4} по відношенню до бокової поверхні заходу 16 і дотичного у точці F2 по відношенню до опорної прямої донної частини западини профілю різі і забезпечує таким чином протиутомні характеристики для з'єднання донної частини западини профілю різі з робочою боковою поверхнею.

Радіус r_{s4} має величину, меншу, ніж радіус r_{p4} , і його величина переважно знаходиться у діапазоні від 0,1 до 0,4 від величини радіуса r_{p4} .

Таким чином, запропонована конструкція нарізного елемента забезпечує збільшення стійкості від утомленості донних частин западин профілю різі у тому випадку, коли обидві бокові поверхні 14 та 16 профілю цієї різі зазнають впливу циклічних механічних впливів при умові, що робоча бокова поверхня навантажена більше, що звичайно відповідає випадку колон труб, які працюють поперемінним чином на розтягування і на стиснення або які зазнають впливу згинаючих зусиль.

На фіг.10А зображений профіль витка 11 охоплюваної різі, пристосованої для загвинчування в охоплюючу різь 12, показану на фіг.9А.

Цей профіль охоплюваного витка різі 11 містить вершину профілю S1, донну частину западини профілю F1, робочу бокову поверхню 13 і бокову поверхню заходу 15.

Бокові поверхні 13 та 15 з'єднані з вершинами профілю S1 і донними частинами западин профілю F1 за допомогою з'єднувальних зон 21, 31, 41, 51.

З'єднувальні зони 31, 41 вершини профілю різі, показані на фіг.10В, утворені дугою кола, що має радіус r_{1s} , і подібні з'єднувальним зонам 32, 43, показаним на фіг.9С.

З'єднувальні зони 21, 51 донної частини западини профілю різі, показані на фіг.10С, являють собою

зони з численними радіусами. Ці з'єднувальні зони подібні зонам 22, 52, показаним на фіг.9В, і відповідають їм.

На фіг.11А зображений профіль охоплюваної різі 11, показаний на фіг.10А, і профіль охоплюючої різі, показаний на фіг.9А, з'єднані між собою за допомогою згинчування для того, щоб сформувати трубне нарізне з'єднання типу того, яке показано на фіг.1.

Профілі різі 11 та 12 знаходяться у взаємному контакті і відчувають певний контактний тиск на двох своїх бокових поверхнях: робоча бокова поверхня 13 охоплюваної різі знаходиться у контакті з робочою боковою поверхнею 14 охоплюючої різі і бокова поверхня заходу 15 охоплюваної різі знаходиться у контакті з боковою поверхнею заходу 16 охоплюючої різі.

Але у цьому випадку існує невеликий зазор між вершинами і донними частинами западин профілю сполучених нарізних ділянок (тобто зазори в парах F1/S2 та F2/S1) і між відповідними з'єднувальними зонами (тобто зазори в парах 21/42, 51/32, 41/52, 31/22), як показано на фіг.11В та 11С.

Ці зазори і форма профілю різі та з'єднувальних зон з основними дугами кіл, які мають досить великий радіус у донній частині западин профілю різі, забезпечують необхідну стійкість від утомленості трубного нарізного з'єднання цього типу при зовнішніх впливах стиснення і розтягування або при згинаючих зовнішніх впливах.

На фіг.12 та 13 зображене співвідношення, для різних сполучень величин кутів А і Е з величиною кута D, на величину відношення r_{p1}/r_{n1} радіуса основної дуги кола з'єднувальної зони з численними радіусами у донній частині западини профілю різі до радіуса дуги стандартного кола, що утворює тангенціальну з'єднувальну зону.

На цих фіг.12 та 13 можна побачити, що величина відношення r_{p1}/r_{n1} зростає із збільшенням кута D. На фіг.12 можна побачити, що вплив кута Е є помірним і знаходиться у співвідношенні з невеликими змінами, допустимими для цього кута: кут Е з величиною 15° дозволяє забезпечити значення відношення r_{p1}/r_{n1} , трохи більш високі, ніж у тому випадку, коли $E=0^\circ$.

Для робочих бокових поверхень різі трапецієподібного профілю, які звичайно мають відносно невеликий нахил і відповідають значенню співвідношення (А-С), близькому до 0° , величина кута D переважно вибрана у діапазоні від 15° до 45° , що відповідає переважному діапазону, заявленому для величин цього кута у тому випадку, коли величина кута А є нульовою.

На фіг.13 зображене співвідношення величини кута А і співвідношення r_{p1}/r_{n1} . При цьому величина даного співвідношення збільшується у тому випадку, коли кут А збільшується за своєю алгебраїчною величиною.

Незначна негативна величина кута А (це означає, що робочі бокові поверхні профілю різі нависають у вигляді крюка по типу «hook threads») призводить до необхідності вибирати відносно велику величину кута D для одержання істотного збільшення величини радіуса r_{p1} .

Значна позитивна величина кута А примушує обмежувати величину кута D значенням у 30° , і навіть 20° . Такі значення кута А зустрічаються на різі трикутного профілю.

Крім того, бокові поверхні заходу різі трапецієподібного профілю звичайно мають трохи більший нахил, ніж робочі бокові поверхні. При цьому величина кута В може безпосередньо впливати на величину кута А.

На фіг.14 зображена зміна основного механічного напруження у з'єднувальній зоні між донною частиною западини профілю різі та робочою боковою поверхнею у середній частині нарізної ділянки в описаній нижче конфігурації нарізного з'єднання для труб типу «risers» у колоні зв'язку між морським дном і добувною платформою, що використовується на морському родовищі:

- труби, що мають зовнішній діаметр 339,7мм (або $13\frac{3}{8}$ дюйми) зістиковані одна з одною за допомогою муфтових нарізних з'єднань типу з'єднання, показаного на фіг.1,
- використана конічна різь (конусність різі становить $1/6$ або кут С дорівнює $4,8^\circ$),
- різь, що використовується, містить 4 витки на дюйм (крок різі при цьому становить 6,35мм),
- витки різі трапецієподібного профілю мають висоту 2,1мм до вершин і донні частини западин профілю різі паралельні осі труб, що використовуються,
- профіль різі має прямі робочі бокові поверхні (кут $A=0^\circ$),
- профіль різі має похилі бокові поверхні заходу (кут $B=15^\circ$),
- осьове розтягнє навантаження, що призводить до виникнення розтяжних напружень у матеріалі труб, становить 80% від межі пружності матеріалу, що використовується,
- нарізні з'єднання загвинчені до упору з використанням стандартного моменту затягування.

На фіг.14 виконане порівняння розрахованої чисельними методами величини основного розтяжного напруження на елементарному кубіку матеріалу на поверхні з'єднувальної зони між донною частиною западини витка різі та робочою боковою поверхнею у випадку стандартного з'єднання з використанням єдиної дуги кола, що має радіус 0,375мм (крива STD), і для з'єднання з численними радіусами (крива RM).

З'єднувальна зона з численними радіусами має такі параметри:

$$\begin{aligned} D &= 30^\circ & E &= 0^\circ \\ r_{p1} &= 0,64\text{мм} & r_{s1} &= 0,19\text{мм} & r_{p1}/r_{s1} &= 0,3 \end{aligned}$$

При цьому положення точки P_{RF1} на робочій боковій поверхні віддалене на відстань 0,32мм від опорної прямої донної частини западини профілю різі.

На фіг.14 зображений елементарний кубик матеріалу на поверхні з'єднувальної зони у кутовому положенні θ і представлено основне напруження σ розтягування на поверхні цього кубика, перпендикулярне до дотичної по відношенню до поверхні з'єднувальної зони у функції кутового положення θ . Положення 0° відповідає кінцю зони з'єднання з донною частиною западини профілю витка різі і положення 90° відповідає іншому кінцю цієї з'єднувальної зони з боку робочої бокової поверхні.

Зазначається наявність максимуму основного напруження σ в середній частині з'єднувальної зони, зокрема, в околі кутового положення 30° .

Використання з'єднання з численними радіусами забезпечує незначне пониження кутового положення опорної точки бокової поверхні до рівня 0,32мм проти 0,375мм для стандартного з'єднання і зменшення приблизно на 20% максимальної величини основного напруження σ .

Таке зменшення спричиняє суттєвий виграш у кількості циклів навантаження до руйнування від утомленості такого нарізного з'єднання.

Використання відношення r_{s1}/r_{p1} що дорівнює 0,3, дозволяє обмежити появу вторинного піка напруження в положенні 70° .

Даний винахід не обмежується тими способами його практичної реалізації, які були описані в описі.

Даний винахід може застосовуватися, зокрема, до циліндричної різі (кут $C=0^\circ$) типу різі 303, 303', 304, 304', що використовується в трубних нарізних з'єднаннях типу з'єднання 300, показаного на фіг.2.

Цей винахід також може бути застосований до різі трапецієподібного профілю, обидві бокові поверхні якого знаходяться у контакті, з наявністю або без наявності між ними контактної тиску, з двома боковими поверхнями сполученої різі.

Це відноситься до випадку так званої різі типу «rugged thread», що використовується для нарізних з'єднань, призначених для роботи на розтягування і на стиснення, наприклад, типу нарізних з'єднань, описаних у патентному документі EP 454147. У цьому документі робочі бокові поверхні охоплюваної і охоплюючої різі знаходяться у взаємному контакті при наявності контактної тиску і бокові поверхні заходу охоплюваної і охоплюючої різі також знаходяться у контакті одна з одною на значній частині довжини нарізних ділянок.

Це також відноситься до випадку різі зі стягнутими в осьовому напрямку боковими поверхнями, описаного у міжнародній патентній публікації WO 00/14441.

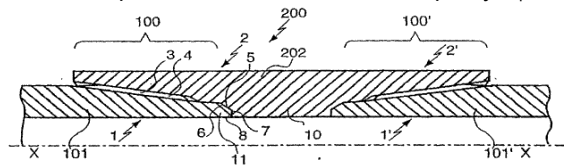
Це також відноситься до випадку клиноподібної різі із змінною шириною профілю, описаною у міжнародній патентній публікації WO 94/29627.

Опис різі трикутного профілю із з'єднувальною зоною донної частини западини профілю різі з численними радіусами на кожній боковій поверхні може бути безпосередньо адаптований до такої різі з трапецієподібним профілем, оскільки трапецієподібна різь є усього лише різью трикутного профілю, вершини і донні частини западин якої зрізані.

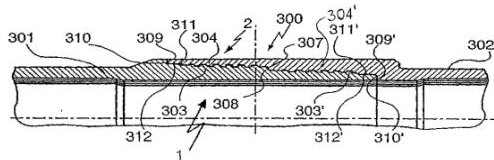
У випадку такої трапецієподібної різі можна використати у донній частині западин її профілю з'єднувальні зони з численними радіусами, в яких радіуси основної дуги кола є різними для з'єднувальної зони, що відноситься до робочої бокової поверхні, і з'єднувальної зони, що відноситься до бокової поверхні заходу.

Оскільки бокова поверхня заходу у профілі різі звичайно є менш навантаженою, ніж робоча бокова поверхня цього профілю, у трапецієподібній різі, де обидві ці бокові поверхні знаходяться у контакті з відповідними боковими поверхнями сполученого нарізного елемента, основний радіус r_p переважно має декілька більшу величину для з'єднувальної зони 21 і/або 22 з боку робочої бокової поверхні, ніж для з'єднувальної зони 51 і/або 52 з боку бокової поверхні заходу.

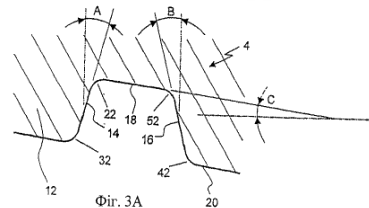
Альтернативним чином основний радіус r_p може бути ідентичним для з'єднувальних зон 21, 22, 51, 52.



Фиг. 1



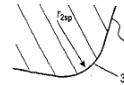
Фиг. 2



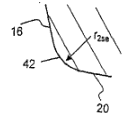
Фиг. 3A



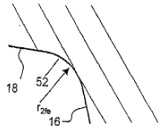
Фиг. 3B



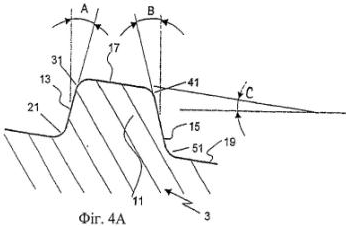
Фиг. 3C



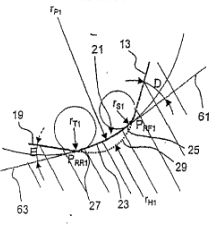
Фиг. 3D



Φir. 3E



Φir. 4A



Φir. 4B



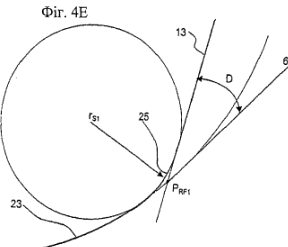
Φir. 4C



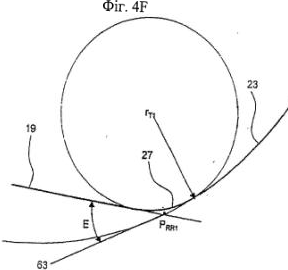
Φir. 4D



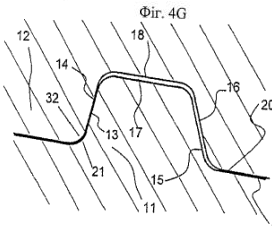
Φir. 4E



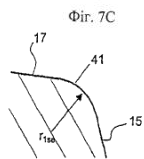
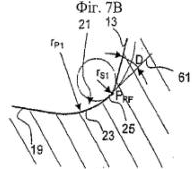
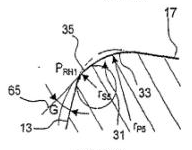
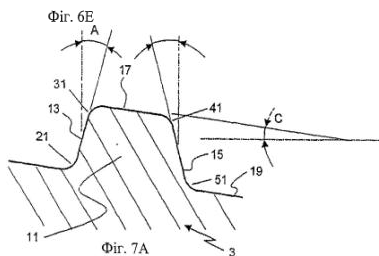
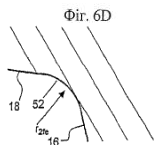
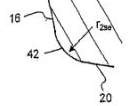
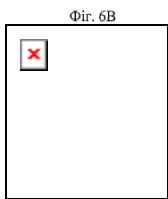
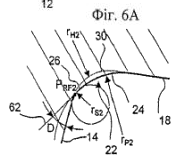
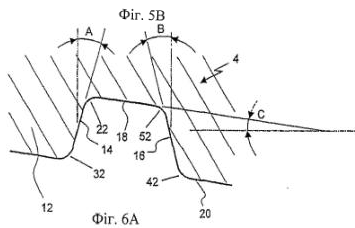
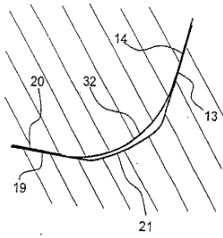
Φir. 4F



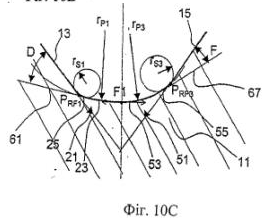
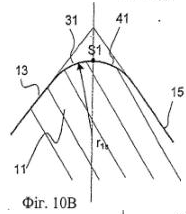
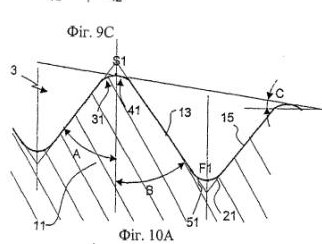
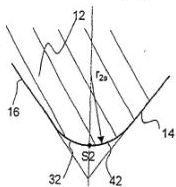
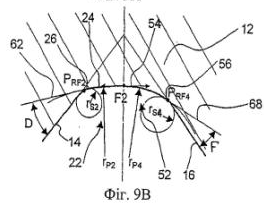
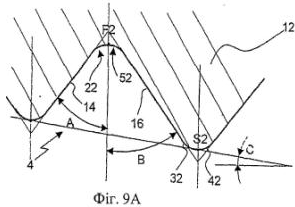
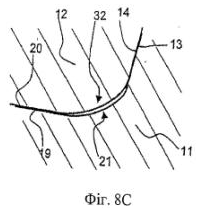
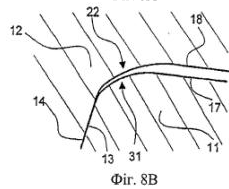
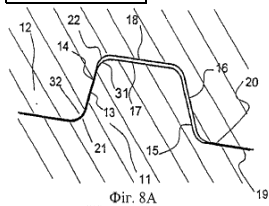
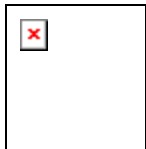
Φir. 4G

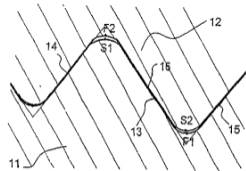


Φir. 5A

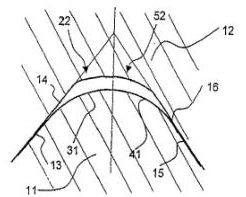


Φir. 7D

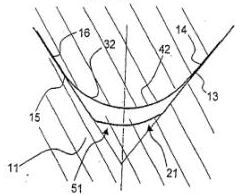




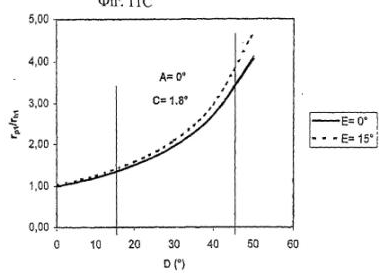
Φir. 11A



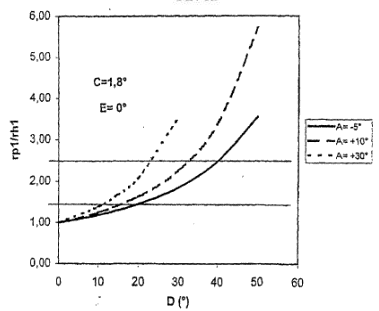
Φir. 11B



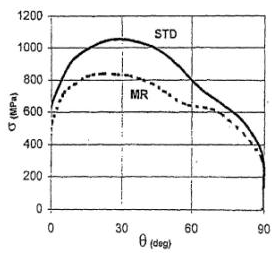
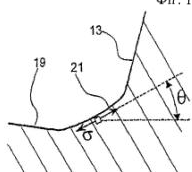
Φir. 11C



Φir. 12



Φir. 13



Φir. 14