

РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ІНСТРУМЕНТА ДЛЯ ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ КОНІЧНОЇ НАРІЗИ ТА ПЕРЕВІРКА ЙОГО РОБОТОЗДАТНОСТІ

І. П. Тарас, Л. Я. Роп'як, Т. О. Пригоровська, М. Й. Бурда, О. В. Пригоровський*

*ІФНТУНГ; вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ Україна, 76019,
e-mail: pryhorovska@gmail.com*

Розглядається проблема конструювання інструменту для фрикційного зміцнення з метою підвищення втомної міцності для конічних нарізевих з'єднань елементів нафтопромислового і бурового обладнання. Для підвищення втомної міцності було розроблено інструмент для фрикційного зміцнення робочої поверхні нарізи. Запропонована конструкція інструменту вирішує актуальну проблему одночасного зміцнення западин та бічних поверхонь конічної нарізи, що забезпечує підвищення як втомної міцності, так і зносостійкості. Конструктивні розміри розробленого інструменту визначені за допомогою геометричного моделювання. Наукова новизна конструкції розробленого інструменту полягає у вирішенні проблеми одночасного зміцнення западин та поверхонь профілю конічної нарізи, а саме, різних довжин бокових поверхонь витка конічної нарізи, шляхом модифікації його бокових деформуючих елементів. За рахунок цього спрощується технологія виготовлення інструмента, забезпечується підвищення періоду стійкості інструменту, стабільність параметрів зміцненого шару робочої поверхні профілю конічної замкової нарізи на елементах бурильних колон, а це покращує якість, продуктивність та економічність фрикційного зміцнення конічних замкових нарізей. Зміцнення здійснювалося на токарно-гвинторізному верстаті 16К20. Були вибрані такі режими зміцнення: максимальне зусилля накатування – 20 кН. Максимальна швидкість обробки 20 м/хв. На машині ИМА-50 проведено експериментальні дослідження втомної міцності зміцнених запропонованим інструментом нарізевих деталей нафтопромислового обладнання. 40ХН. Під час розроблення методики випробувань деталей на втомну міцність був прийнятий спосіб навантаження зразка за схемою чистого згину з обертання. Встановлено, що втомна міцність зміцнених деталей, виготовлених із сталі 40ХН, була у 1,15-1,2 рази вищою за втомну міцність незміцнених деталей із того самого матеріалу. Встановлено, основні фактори, що забезпечують збільшення втомної міцності конічного нарізевого з'єднання деталей.

Ключові слова: конічна нарізь, інструмент для фрикційного зміцнення, технологія зміцнення, деталі нафтогазпромислового в бурового обладнання, втомна міцність.

Рассматривается проблема конструирования инструмента для фрикционного укрепления для повышения усталостной прочности для конических резьбовых соединений элементов нефтепромышленного и бурового оборудования. Для повышения усталостной прочности разработан инструмент для фрикционного укрепления рабочей поверхности резьбы. Предложенная конструкция инструмента решает актуальную проблему одновременного укрепления впадин и боковых поверхностей конической резьбы, что обеспечивает повышение как усталостной прочности, так и износостойкости. Конструктивные размеры разработанного инструмента определены с помощью геометрического моделирования. Научная новизна конструкции разработанного инструмента заключается в решении проблемы одновременного упрочнения впадин и поверхностей профиля конической резьбы, а именно различных длин боковых поверхностей витка конической резьбы путем модификации его боковых деформирующих элементов. За счет этого упрощается технология изготовления инструмента, обеспечивается повышение периода стойкости инструмента, стабильность параметров упрочненного слоя рабочей поверхности профиля конической замковой резьбы на элементах бурильных колонн, а это повышает качество, производительность и экономичность фрикционного крепления конических замковых резьбы. Упрочнение осуществлялось на токарно-винторезный станок 16К20. Были выбраны следующие режимы укрепления: максимальное усилие накатки – 20 кН. Максимальная скорость обработки 20 м/мин. На машине ИМА-50 проведены экспериментальные исследования усталостной прочности упрочненных предложенным инструментом резьбовых деталей нефтепромышленного оборудования. 40ХН. При разработке методики испытаний деталей на усталостную прочность был принят способ нагружения образца по схеме чистого изгиба из обращения. Установлено, что усталостная прочность усиленных деталей, изготовленных из стали 40ХН в 1,15-1,2 раза выше усталостной прочности неупрочненных деталей из того же материала. Установлены основные факторы, обеспечивающие увеличение усталостной прочности конического резьбового соединения деталей.

Ключевые слова: коническая резьба, инструмент для фрикционного упрочнения, технология упрочнения, детали нефтегазпромислового бурового оборудования, усталостная прочность.

The article considers the problem of designing a tool for friction hardening to increase the fatigue strength for conical threaded joints of elements of oilfield and drilling equipment. To increase the fatigue strength, a tool was developed for frictional strengthening of the working surface of the thread. The proposed design of the tool solves the current problem of simultaneous strengthening of depressions and side surfaces of the conical notch, which provides an increase in both fatigue strength and wear resistance. The design dimensions of the developed tool are determined using geometric modeling. The scientific novelty of the developed tool design is to solve the problem of simultaneous strengthening of depressions and surfaces of the conical groove profile, namely different lengths of the side surfaces of the conical groove, by modifying its lateral deforming elements. This simplifies the manufacture of the tool, increases the stability of the tool, the stability of the parameters of the reinforced layer of the working surface of the profile of the conical keyway on the elements of drill strings, and this improves the quality, productivity and efficiency of friction reinforcement of conical keyholes. Hardening was carried out on a lathe 16K20. The following hardening modes were selected: maximum rolling force - 20 kN. The maximum processing speed is 20 m / min. Experimental studies of fatigue strength on the machine IMA-50 threaded parts of oilfield equipment made of steel 40HN, reinforced with the proposed tool. During the development of the method of testing the parts for fatigue strength, a method of loading the sample according to the scheme of pure bending by rotation was adopted. It was found that the fatigue strength of reinforced parts made of 40HN steel was 1.15-1.2 times higher than the fatigue strength of non-reinforced parts made of the same material. The main factors that increase the fatigue strength of the conical threaded connection of parts have been identified.

Key words: conical thread, tool for friction hardening, hardening technology, details of oil and gas drilling equipment, fatigue strength.

Вступ

Конічні замкові нарізі є конструкторськими елементами переважної більшості навантаженого нафтопромислового обладнання (труби, долота тощо). Тривала і надійна експлуатація нарізевих з'єднань неможлива без забезпечення належної якості робочого поверхневого шару нарізі. Якість поверхневого шару характеризується шорсткістю поверхні, ступенем та глибиною поверхневого зміцнення, а також рівнем залишкових напружень та їх знаком тощо.

Не зважаючи на значні зусилля дослідників у сфері удосконалення конструкцій та підвищення експлуатаційних показників нафтопромислового та бурового обладнання, залишається висока ймовірність обриву бурильної колони та виникнення аварійних ситуацій внаслідок руйнування по тілу нарізі в нарізевому з'єднанні, спричиненого дією циклічного навантаження та агресивного середовища. Ліквідації наслідків обривів призводить до значних витрат коштів, часу, праці та матеріалів. Технологія виготовлення високонавантажених деталей нарізевих з'єднань повинна передбачати відсутність перерізання волокон матеріалу під час механічної обробки, а також створювати в найбільш напружених місцях залишкові напруження стиску [1]. Тому постає потреба у підвищенні міцності та довговічності деталей нарізевих конічних з'єднань.

Сьогодні для підвищення міцності та довговічності деталей нарізевих конічних з'єднань використовуються технологічні заходи, наприклад, накатування та/або фрикційне зміцнення. За даними [1] для згвинчування деталей нарізевих з'єднань з фрикційно зміцненою поверхнею потрібен менший момент згви-

нчування, а самі деталі після складання не змінюють форму. Також до переваг такого способу зміцнення нарізей відносять безвідходність технології виготовлення, високу продуктивність, формування нарізі із високими експлуатаційними показниками [2].

Висока продуктивність під час фрикційного зміцнення нарізей досягається за рахунок високих швидкостей оброблення нарізевих поверхонь деталей, відсутності потреби у згвинчуванні головки під час зворотного ходу, високої точності і низької шорсткості одержаної поверхні, можливості оброблення деяких важкооброблюваних матеріалів, що суттєво підвищує продуктивність процесу.

Основним інструментом для цього є накатні головки та ролики, поширеність яких пояснюється їх універсальністю, можливістю зміцнювати нарізі високої точності, різної довжини з дрібними і великими кроками, на досить різноманітних матеріалах [3]. Накатні головки можуть застосовуватися на токарних і свердильних верстатах, верстатах-автоматах і верстатах з ЧПУ, даючи можливість з високою продуктивністю обробити нарізь на будь-якій деталі, яку можна закріпити на даному верстаті [4].

Для циліндричних нарізей розроблена значна кількість накатного інструменту, проте конічні нарізі передбачають різні довжини бокових поверхонь різних витків [5], що передбачає складну конструкцію інструменту. Тому для конічних нарізей постає потреба у розробленні інструменту для зміцнення нарізей.

Огляд літератури

На сьогодні для накатування та/або фрикційного зміцнення використовують різноманіт-

ні нарізенкатні головки із роликками, що вільно або примусово обертаються. Найбільшого поширення набули циліндричні ролики із багато-західною нарізкою або кільцевими витками на зовнішній поверхні. Для накатування нарізи з радіальною подачею, що здійснюється рухомих роликком. Ролики мають однаковий діаметр і обертаються в один бік. Конструктивні особливості роликків залежать від матеріалу, на якому накатується нарізь, розмірів деталі, моделі верстата [3, 6].

Рекомендованим методом зміцнення нарізкової з'єднання є обкатування роликками, оскільки він забезпечує підвищення мікротвердості нарізкової поверхні труби; підвищення герметичності з'єднання; усунення явищ схоплювання і задирок; не вимагає значних витрат, а також дає можливість вбудувати технологію та обладнання в діючі технологічні процеси; передбачає високий термін служби профільних обкатних інструментів; низькі, в порівнянні з іншими технологіями, експлуатаційні витрати і доступність витратних матеріалів; можливість використання технології для зміцнення як внутрішньої, так і зовнішньої нарізей без обмеження розмірів [7, 8].

Для пластичного деформування нарізевих поверхонь (зміцнення та/або накатування) використовують такі інструменти:

- зміцнювальні плашки THREAD ROLLING DIE Construction [9–12];

- зміцнювальні пристрої та апарати, конструкція яких передбачає дві зовнішні нарізеві поверхні, поміж якими пропускається зміцнювана деталь [13–14];

- планетарні механізми із числом зміцнювальних роликків від 2 до 5 штук для зміцнення внутрішньої нарізи [15];

- інструмент для зміцнення складних поверхонь деталей, який виконаний у вигляді диску, на периферії якого розміщені деформуючі елементи – тіла кочення (наприклад кульки, закріплені у криволінійних канавках, виконаних на відповідних поверхнях диску). До недоліків такого інструменту можна віднести те, що зміцнення матеріалу деталей здійснюється тільки за рахунок поверхневого пластичного деформування без проходження фазових перетворень, що не забезпечує одержання високих фізико-механічних властивостей поверхневих шарів. Крім того, відомий інструмент має низьку надійність під час експлуатації, що пов'язано із складністю утримування деформуючих елементів (кульок) у криволінійних канавках диску [16];

- головка для накочування конічної нарізи розроблена ВНИИМЕТМАШ [17] для накочу-

вання нарізи на бурильних трубах (ГОСТ 631-75), попередньо проточених на конус, яка використовується на трубонарізних верстатах і передбачає наявність п'яти накатних роликків, встановлені на голчастих підшипниках на ексцентрикових осях, які повертаються в дисках. Головка на розмір накатуваної нарізи регулюється гвинтами;

- пристрій для накатування конічної нарізи, конструкція якого передбачає наявність роликків із західними та калібрувальними ділянками, які встановлені на ексцентрикових осях, закріплені в циліндричному корпусі під кутом до осі пристрою, і містить додаткові ексцентрикові осі та встановлені на них калібруючі ролики; при цьому додаткові осі встановлені в корпусі паралельно до його осі, а калібруючі ролики виконані довжиною, рівною довжині нарізи, що накатується [17].

- інструмент для зміцнюючого накатування зовнішніх нарізей EF90, який складається з хвостовика, набору пружин, індикатора, накатної головки, ролика і його тримача. Ролик може переміщатися в осьовому напрямку на відстань +0,25 мм для компенсації помилки позиціонування. Для кожного типу нарізи потрібен окремий ролик [19].

- нарізенкатна головка, конструкція якої передбачає розміщення у корпусі нарізенкатних роликків із західними та калібрувальними ділянками, причому нарізеві витки калібрувальної ділянки виконані із профілем, нахиленим відносно профілю витків нарізи на калібрувальній ділянці на кут, що рівний половині кута конусності нарізи [17].

- інструмент для фрикційного зміцнення поверхневого шару циліндричних деталей з корпусом у вигляді диска з матеріалу із низьким коефіцієнтом теплопровідності та робочою поверхнею на його периферії. При цьому інструмент забезпечений пальцями, виконаними з матеріалу з коефіцієнтом теплопровідності вищим, ніж у матеріалу диска, і розташованими в радіальних отворах, виконаних на робочій поверхні диска, при цьому діаметр пальців вибирають залежно від товщини інструменту [21].

Для зміцнення та/або накатування конічної нарізи застосовують конічні накатні ролики або здійснюють поворот роликків на необхідний кут конуса. Цикл – один прямий хід головки. Час накатування нарізи – від 1,5 до 3 с. Повертання накатної головки дає змогу накатувати як зовнішні циліндричні, так і конічні нарізи в широкому діапазоні діаметрів – від 2 до 56 мм з кроками до 3,5 мм і довжиною до 42 мм [18].

Відомий інший метод підвищення фізико-механічних властивостей поверхневих шарів. Суть цього методу полягає у цілеспрямованій трансформації поверхневих шарів оброблюваної поверхні за рахунок температурно-силової дії в процесі тертя інструменту по зміцнюваній поверхні [20]. У результаті дії високої температури при місцевому нагріванні та деформації, а також виникнення у зоні обробки ювенільної поверхні відбувається інтенсифікація багатьох фізико-хімічних процесів, які впливають на формування показників якості оброблюваного металу. Не зважаючи на надзвичайно малу тривалість цих процесів, вільна енергія гратки металу настільки збільшується, а енергія активації настільки знижується, що відбувається взаємодія компонентів мастильно-охолоджуючих або інших середовищ з металом деталі та інструменту. Даний метод реалізується інструментом для зміцнення профілю замкових нарізів, який виконаний у вигляді диску із двома конічними боковими поверхнями, які утворюють кут профілю інструменту, рівний куту профілю конічної замкової нарізі, та з трьома деформуючими елементами з радіусом заокруглення поперечного перерізу, рівним радіусу заокруглення западни конічної замкової нарізі, один із яких – периферійний, розміщений на лінії перетину конічних бокових поверхнь – радіусі диска і має форму тора, а два інші – бокові, розміщені на конічних бокових поверхнях диску, мають криволінійну форму [20].

Проте недоліками конструкції такого інструмента є складність його виготовлення, а саме формування криволінійних бокових деформуючих елементів у вигляді спіралей Архімеда на конічних бокових поверхнях. Крім того, даний інструмент не можна використати для зміцнення конічних замкових різьб із профілем, несиметричним відносно площини, перпендикулярної до осі конуса різьби, оскільки через різну довжину сусідніх сторін профілю конічної різьби під час роботи дискового інструмента виникає осьова складова сил, направлена у бік меншої сторони профілю конічної різьби. Це спричиняє виникнення постійної осьової деформації інструмента та призводить до його одностороннього асиметричного зносу і зниження періоду стійкості, а також не забезпечує високої якості зміцнення всього профілю конічної замкової нарізі.

Таким чином, постає потреба у розробленні конструкції інструменту для фрикційного зміцнення конічної замкової нарізі із забезпеченням високої якості поверхні зміцнюваної нарізі для деталей, які використовуються в

конструкціях нафтопромислового та бурового обладнання.

Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є розроблення конструкції та перевірка роботоздатності інструменту для фрикційного зміцнення профілю конічної замкової нарізі для забезпечення підвищеної втомної міцності та зносостійкості нарізів з'єднання, за рахунок стабільності властивостей зміцненого шару поверхні профілю конічної замкової нарізі.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити конструкцію інструменту та методику розрахунку його конструкторських параметрів;
- вибрати схеми та режими зміцнення конічних нарізів;
- випробувати на втомну міцність конічні нарізів з'єднання, які фрикційно зміцнені розробленим інструментом.

Об'єкт дослідження: деталі геологорозвідувального замка 3-50 ГОСТ 7918-75 (рис. 1), які зміцнювалися за допомогою розробленого інструменту.

Матеріали та методи технології зміцнення деталей, випробовувань

Для розроблення конструкції та визначення геометричних параметрів зміцнюючого інструменту застосовано метод геометричного моделювання із урахуванням профілю конічної нарізі трубного з'єднання.

Процес зміцнення здійснювали на токарно-гвинторізному верстаті 16К20. Для зміцнення деталей бурового замка (рис. 2) використовувалася пристрій – високошвидкісна шліфувальна головка т.зв. фортуна, що кріпиться на супорті токарно-гвинторізного верстата.

Режими зміцнення: зміцнюючий інструмент встановлювали на шпинделі фортуни і, обертаючись із швидкістю 60-70 м/с, інструмент притискався з постійним зусиллям від 600 Н до 1000 Н до оброблюваної деталі, що обертається з коловою швидкістю від 0,02 м/с до 0,08 м/с. Поздовжня подача інструмента відносно деталі відповідає кроку нарізі 4,235 мм на один оберт. Під час зміцнення в зоні їх контактування відбувається локальний імпульсний нагрів поверхні оброблюваної деталі до температури 1100-1300 К. У зону обробки подають мастильно-охолоджуючу рідину (наприклад, мастило мінеральне И12А) для швидкого охолодження зміцнювальної поверхні.

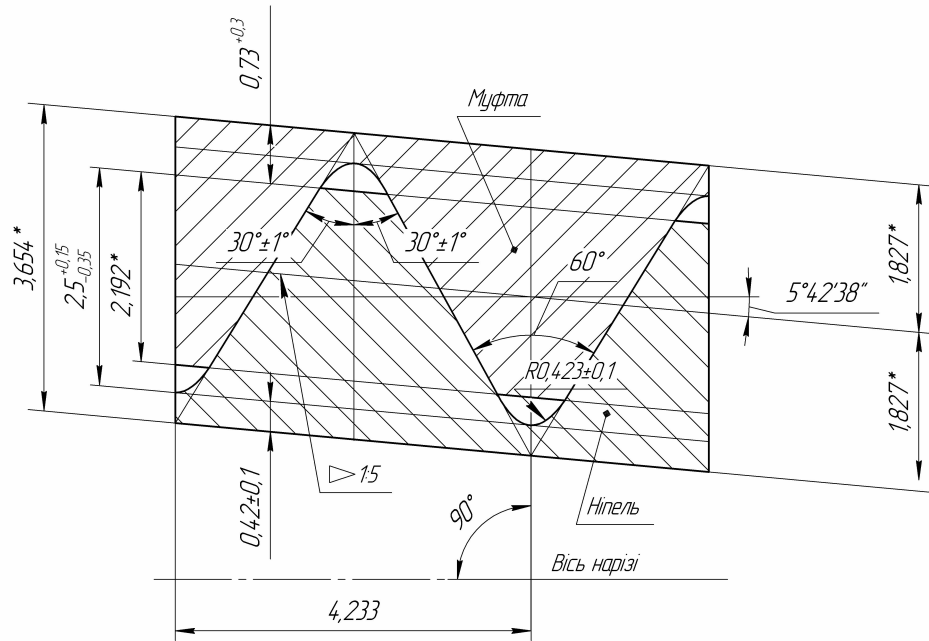


Рисунок 1 – Профіль нарізі трубного з'єднання ГОСТ 6211–81

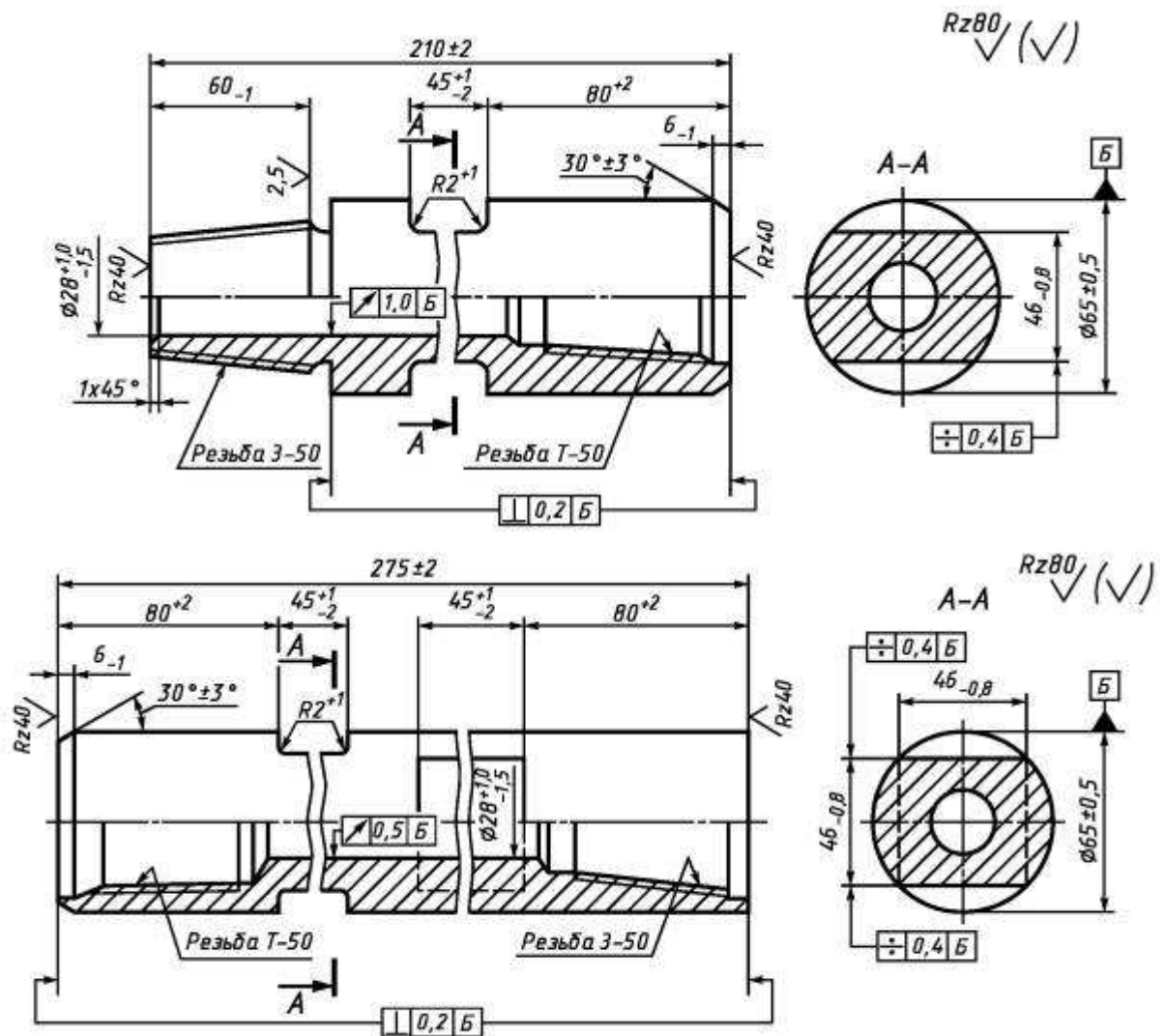
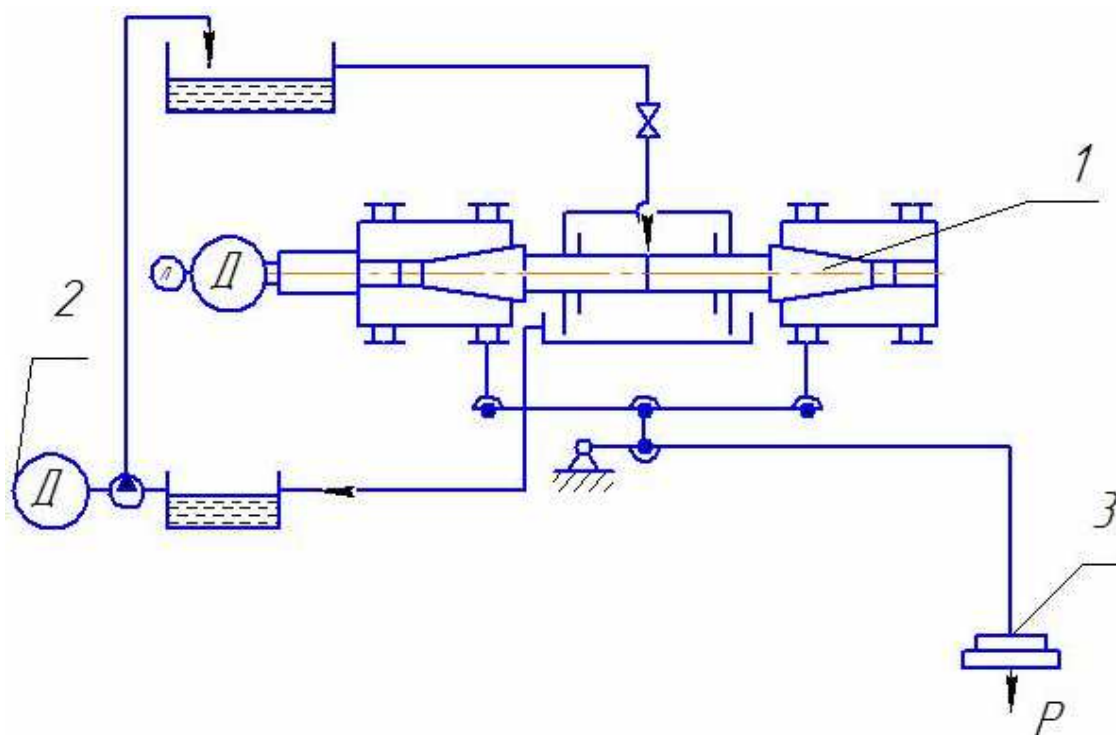


Рисунок 2 – Кресленки деталей геологорозвідувального замка 3-50 ГОСТ 7918-75



1 – буровий замок, 2 – двигун, 3 – прикладена навантажуюча сила
Рисунок 3 – Принципова схема універсальної навантажувальної машини ИМА-50

Для виготовлення інструменту для фрикційного зміцнення використовували твердий сплав ВК 6 ГОСТ 3882-74. Матеріал зміцнюваних деталей – сталь 40Х ГОСТ 4543-71.

Під час розроблення методики випробувань деталей на втомну міцність із сталим циклічним симетричним навантаженням був прийнятий спосіб навантаження зразка за схемою чистого згину з обертанням. Елементи нафтопромислового обладнання випробовували на втомну міцність на універсальній навантажувальній машині ИМА-50, яка забезпечувала пружний згин [22]. Машина ИМА-50 дозволяє рівномірно навантажувати робочу частину дослідного зразка постійним згинаючим моментом, який створює у зразку симетричні циклічні напруження згину [22], що дає змогу дослідити явища втоми по всій довжині дослідного зразка, а не лише в одному перерізі. Зразки навантажувались за допомогою важільної системи із вантажами.

Під час обертання досліджуваного зразка, закріпленого в шпindelних бабках, реалізується схема навантаження «чистий згин з обертанням», відповідно до якої дія концентрація максимальних навантажень припадає на поверхневу частину зразка. Від двигуна за допомогою муфти обертання передається зразком. Після пуску двигуна до зразка прикладають силу і вмикають лічильник циклів. При руйнуванні зразка машина автоматично відключається.

Концентрація максимальних навантажень припадає на поверхневу частину зразка. Метод дослідження відповідає ГОСТ 2860-45 «Метали. Метод визначення границі витривалості (втоми)». Зразки, що досліджувалися, – деталі геологорозвідувального замка 3-50 ГОСТ 7918-75 (рис. 2). Схема установки показана на рис. 3. Досліджувалося дві пари зразків – без зміцнення розробленим інструментом та зміцнені.

Конструктивно універсальна машина складається із наступних деталей. На зварній рамі встановлено електродвигун і барабани привода та холостого ходу. Двигун із приводним барабаном з'єднані еластичною муфтою. Барабани, опираючись на стійки за допомогою цапф, обертаються у вертикальній площині. Барабан складається із шпинделя, встановленого у корпусі на двох радіальних шарикопідшипниках. Дослідний зразок встановлюється в шпинделях за конічною посадкою і підтискається сухарями та накидними гайками.

Навантаження на зразок передається через навантажувальні цапфи барабанів і важільну систему, яка в 16 разів посилює навантаження зразків. При цьому навантаження не залежить від зміни жорсткості зразку внаслідок розвитку втомних тріщин.

Щоб запобігти биттю шпинделя і вібрацій машини необхідне центрування дослідного зразка, що згвинчений за допомогою оптимального крутного моменту. Після складання зразки

встановлюють в центрах токарного верстату і проточують до номінального розміру. Частота обертання шпинделя становила 1440 об/хв.

Результати досліджень

Розробка конструкції інструменту для фрикційного зміцнення конічних нарізей

Поставлене завдання вирішували шляхом модифікації бокових деформуючих елементів.

Запропонована конструкція інструменту для фрикційного зміцнення конічних замкових нарізей виконується у вигляді диска із двома конічними боковими поверхнями. Ці поверхні утворюють кут профілю інструмента, рівний куту профілю конічної замкової нарізи. Три деформуючі елементи мають радіус r заокруглення поперечного перерізу, рівний радіусу заокруглення западини конічної замкової нарізи, один із яких – периферійний, розміщений на лінії перетину конічних бокових поверхонь – на віддалі, що відповідає радіусу R диска і має форму тора, а два інші – бокові, розміщені на конічних бокових поверхнях диска і мають криволінійну форму. Бокові деформуючі елементи виконані у вигляді кільцевих еліпсоподібних поверхонь, спряжених із периферійним тороподібним деформуючим елементом. Початок радіуса r заокруглення поперечного перерізу бокових деформуючих елементів знаходиться на лінії еліпса з великою віссю a і малою віссю b розташованого на відповідній боковій конічній поверхні диска (рис. 4).

Визначення геометричних розмірів інструмента для фрикційного зміцнення конічних нарізей

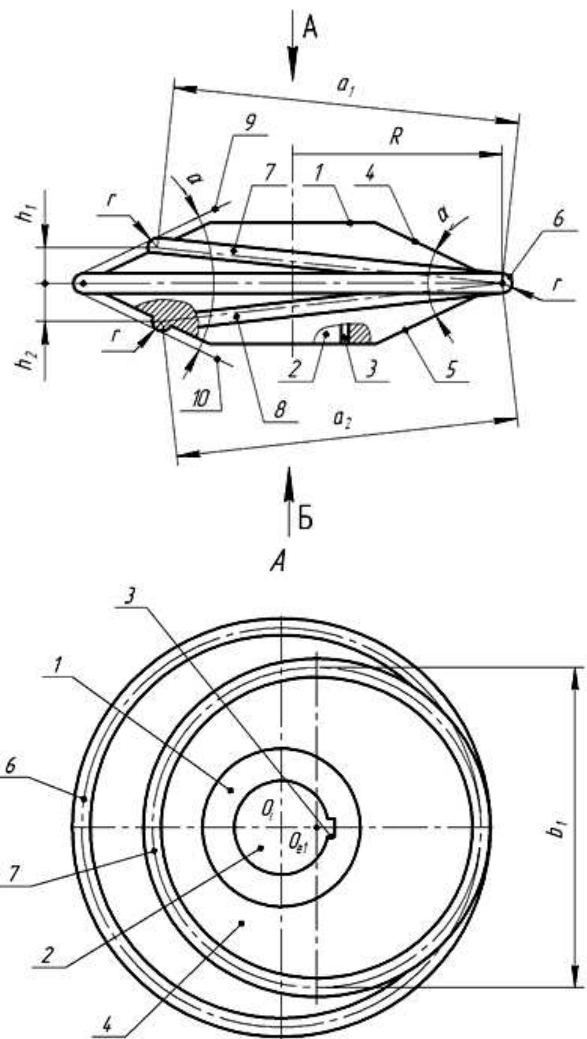
Для конструювання інструмента необхідним є визначення параметрів великої і малої осей еліпса, розташованого на відповідній боковій конічній поверхні диска. Для визначення параметрів еліпсоподібних деформуючих елементів розглянемо рис. 5, на якому зображені горизонтальна і фронтальна проекції теоретичної конічної поверхні інструмента з еліпсоподібним деформуючим елементом.

З проекцій видно, що натуральна величина великої осі відповідає її фронтальній проекції A_2B_2 , малої осі – горизонтальній C_1D_1 .

Як видно з рисунка 2,

$$\beta = \frac{\alpha}{2}, \quad h = |B_2K_2|, \quad R = |AG|, \quad (1)$$

де R – радіус основи конуса, h – висота найвищої точки еліпса відносно основи, β – кут нахилу твірної конуса до його основи.



1 – диск, 2 – посадкова поверхня, 3 – повідкова поверхня, 4 і 5 – бокові поверхні диска, 6 – периферійний деформуючий елемент, 7 і 8 – бокові деформуючі елементи, 9 і 10 – дотичні площини

Рисунок 4 – Інструмент для фрикційного зміцнення конічних замкових нарізей

Велика вісь еліпса

$$a = |A_2B_2|; \quad (2)$$

а мала вісь еліпса

$$b = |C_1D_1|. \quad (3)$$

Велику вісь еліпса знайдемо з фронтальної проекції. З трикутника $G_2B_2K_2$ одержимо залежності

$$|G_2K_2| = |B_2K_2| \cot \beta = h \cot \beta; \quad (4)$$

$$|K_2A_2| = |G_2A_2| - |G_2K_2| = 2R - h \cot \beta; \quad (5)$$

Остаточний результат для великої осі еліпса одержимо з трикутника $A_2B_2K_2$:

$$|B_2A_2| = \sqrt{|B_2K_2|^2 + |K_2A_2|^2}. \quad (6)$$

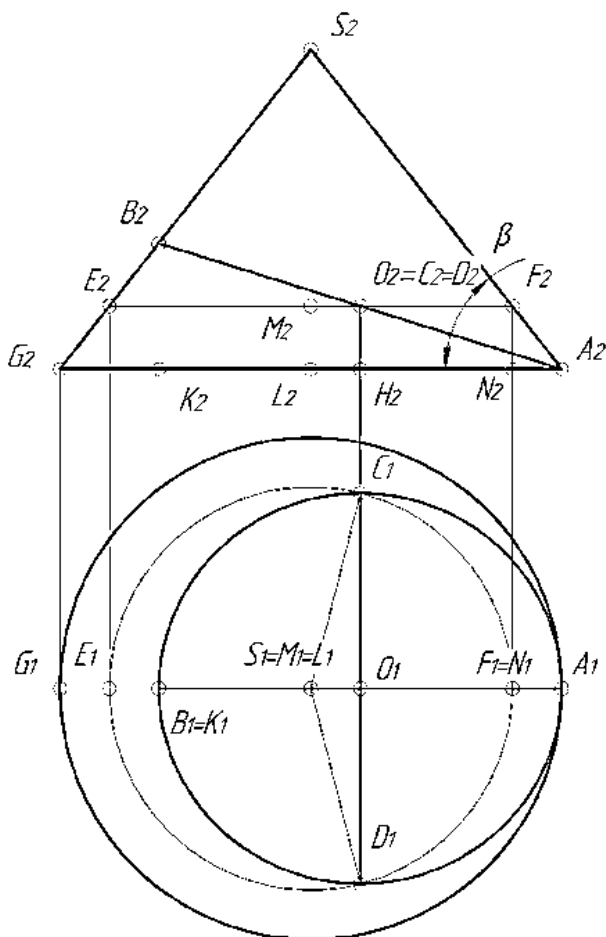


Рисунок 5 – Горизонтальна і фронтальна проєкції теоретичної конічної поверхні інструмента з еліпсоподібним деформуючим елементом

Підставивши (1), (2), (3) в (6) і провівши перетворення, одержимо у позначеннях рисунка 2:

$$a = \sqrt{h^2 \left(\csc \frac{\alpha}{2} \right)^2 + 4R \left(R - h \cot \frac{\alpha}{2} \right)}. \quad (7)$$

Знаючи, що мала вісь еліпса ділить велику вісь навпіл, знайдемо радіус кола, на якому вола лежить з фронтальної проєкції.

$$|M_2 F_2| = |L_2 A_2| - |N_2 A_2|. \quad (8)$$

З трикутника $A_2 F_2 N_2$ визначимо

$$|N_2 A_2| = |F_2 N_2| \cot \beta. \quad (9)$$

З подібності трикутників $K_2 B_2 A_2$ та $H_2 O_2 A_2$, підставивши (1), одержимо радіус кола малої осі еліпса

$$|M_2 F_2| = R - \frac{h}{2} \cot \beta. \quad (10)$$

На горизонтальній проєкції визначимо величину півхорди $O_1 C_1$ цього кола, що відповідає малій півосі еліпса з трикутника $S_1 C_1 O_1$.

$$|O_1 C_1| = \sqrt{|S_1 C_1|^2 - |S_1 O_1|^2}. \quad (11)$$

Пам'ятаючи, що

$$|S_1 C_1| = |M_2 F_2|, \quad |S_1 O_1| = |M_2 O_2|. \quad (12)$$

провівши перетворення та підставивши (1), одержимо

$$|O_1 C_1| = \sqrt{R^2 - Rh \cot \beta}. \quad (13)$$

В позначеннях рис.2 мала вісь еліпса

$$b = 2\sqrt{R^2 - Rh \cot \frac{\alpha}{2}}. \quad (14)$$

Таким чином, проведені дослідження дають змогу визначити основні конструктивні показники інструменту для фрикційного зміцнення конічних нарізів:

мала вісь еліпса

$$a = \sqrt{h^2 \left(\csc \frac{\alpha}{2} \right)^2 + 4R \left(R - h \cot \frac{\alpha}{2} \right)};$$

велика вісь еліпса:

$$b = 2\sqrt{R^2 - Rh \cot \frac{\alpha}{2}},$$

де R – радіус периферійного тороподібного деформуючого елемента диска, мм; α – кут профілю конічної замкової нарізі, град; h – відстань від бісектриси кута профілю інструмента, рівного куту профілю конічної замкової нарізі, до точки перетину відповідної великої осі еліпса із конічною боковою поверхнею диска ($i=1$ для h_1 , розташованої від меншої сторони профілю конічної замкової нарізі; $i=2$ для h_2 розташованої від більшої сторони профілю конічної замкової нарізі, мм, причому величину h визначають із співвідношення:

$$h = \frac{P}{2} \left(1 \pm \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) - r \cdot \frac{\cos \alpha}{2},$$

де P – крок конічної замкової нарізі, мм; φ – кут ухилу конічної замкової нарізі, град; r – радіус заокруглення западини конічної замкової нарізі, мм, при цьому знак "мінус" приймають для розрахунку h_1 , розташованої від меншої сторони профілю конічної замкової нарізі, а знак "плюс" – для h_2 , розташованої від більшої сторони профілю конічної замкової нарізі відповідно.

Робота інструменту для фрикційного зміцнення конічних нарізів

Зміцнення зовнішньої конічної нарізі

Конічну замкову нарізь пропонуємо інструментом зміцнюють наступним чином (рис. 6 і 7). Під час зміцнення деталі 11 (ніпеля або муфти бурового замка або бурильної труби) із зовнішньою конічною замковою нарізью (бісектриса кута профілю нарізі перпендикулярна до осі конуса), яка має западину 12, меншу 13 і

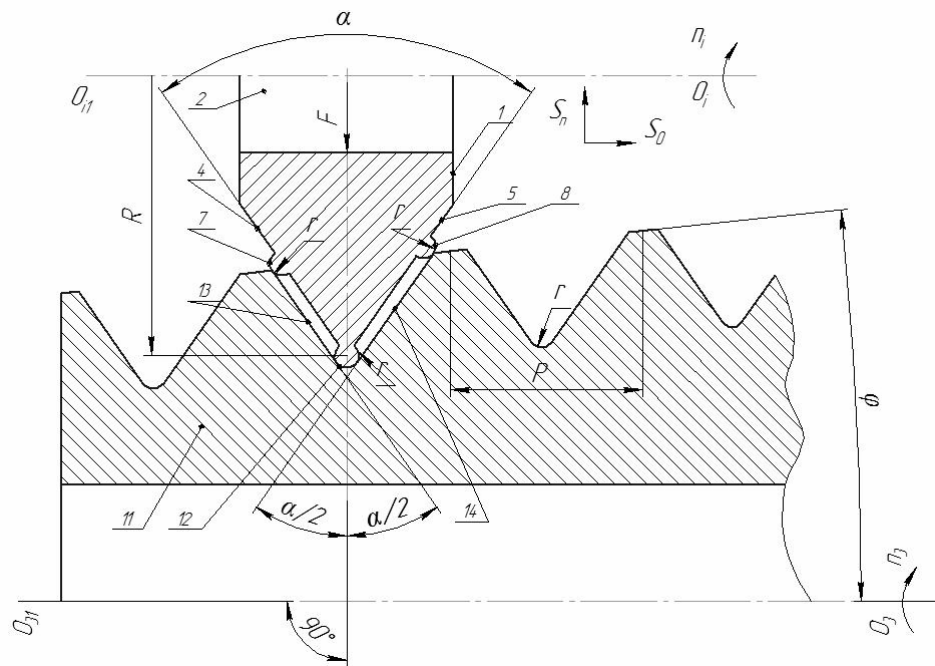


Рисунок 6 – Схема зміцнення зовнішньої кінцевої замкової нарізі

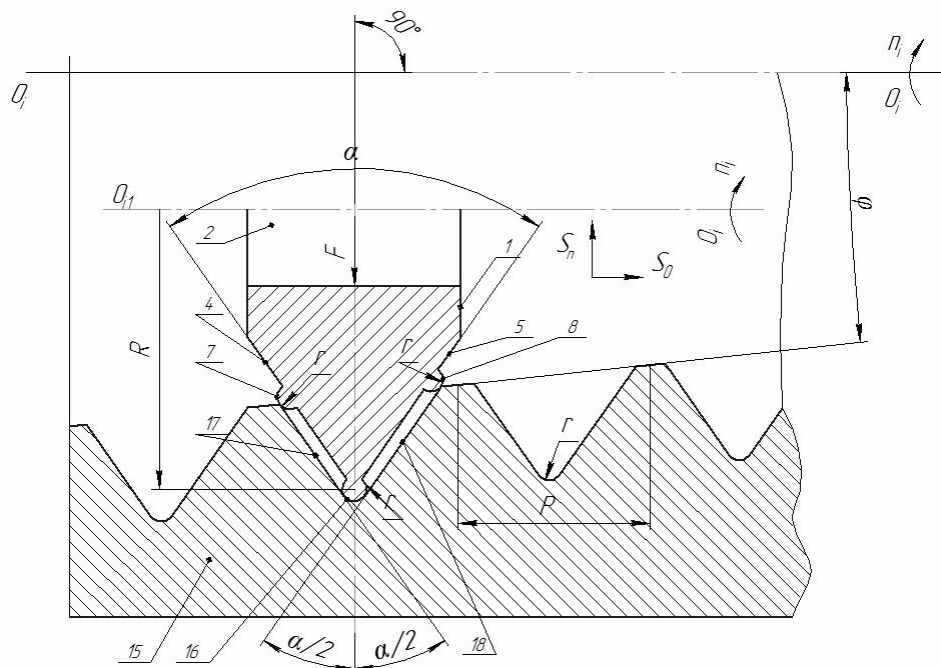


Рисунок 7 – Схема зміцнення внутрішньої кінцевої замкової нарізі

більшу 14 сторони профілю, інструмент взаємодіє деформуючими елементами 6, 7 і 8 із западиною 12 та боковими сторонами профілю його кінцевої замкової нарізі 13, 14 відповідно.

Деталь 11 (елемент бурильної колони) встановлюють і нерухомо закріплюють у патроні токарно-гвинторізного верстата (на рис. 4 не показаний) для надання їй повільного руху обертання з частотою з n . На супорті або в різцетримачі токарно-гвинторізного верстата монтують спеціальний пристрій – фортуну (на рис.5 не показана), оснащений електродвигу-

ном, що надає інструменту головний рух – обертання із частотою n_i . Інструмент встановлюють нерухомо на кінці вихідного валу фортуни по посадковій поверхні 2. Крутний момент від валу фортуни передається інструменту через його повідкову (шпонкову) поверхню 3. Фортуну із закріпленим на вихідному кінці валу інструментом встановлюють таким чином, щоб площина обертання інструмента, яка проходить по найбільшому радіусу R і через вісь периферійного тороподібного деформуючого елемента 6 інструмента, співпадає з напрямком кінцевої



Рисунок 8 – Зміцнені деталі геологорозвідувального замка 3-50

замкової нарізі деталі 11. Іншими словами – щоб вісь обертання вихідного валу фортуни знаходилась у вертикальній площині, паралельній до осі обертання ОЗ-ОЗ1 деталі 11, а інструмент для фрикційного зміцнення був встановлений під кутом, рівним куту підймання нарізі, за рахунок похилого встановлення осі обертання вихідного валу фортуни у вертикальній площині відносно горизонтальної площини, яка паралельна осі деталі 11. Частоту обертання вихідного валу фортуни n_i вибирають такою, щоб забезпечити лінійну швидкість обертання інструмента порядку 40...60 м/с. Інструменту надають також рух поздовжньої подачі S_o і за допомогою, наприклад, копіра (на рис. 3 не показано) поперечну подачу S_n . Крім цього, прикладають нормальну силу F для забезпечення притискання інструмента до оброблюваних поверхонь конічної зміцнюваної замкової нарізі деталі 11. Внаслідок такого просторового розміщення та дії сили F між інструментом та зміцнюваними поверхнями 12, 13 і 14 конічної замкової нарізі деталі 11 у загальному випадку утворюється три ділянки контактування: між западиною нарізі 12 та периферійним тороподібним деформуючим елементом 6; дві – між боковими сторонами профілю нарізі 13 і 14 та боковими деформуючими елементами 7 і 8 відповідно. Система трьох деформуючих елементів 6, 7 і 8 інструмента утворює криволінійні і точкові зони контактування з конічною нарізною поверхнею деталі 11, що у поєднанні із дією сили F та швидкості обертання і n забезпечує виникнення високих контактних напружень і температур у зоні зміцнення. Бокові деформуючі елементи 7 і 8 розміщені на відповідних конічних поверхнях 4 і 5 диска 1 інструменту, тому вибираючи відповідні кутові пара-

метри і геометричні розміри цих елементів, а також таке їх взаємне розміщення, що дотичні до них площини 9 і 10 і утворюють кут α , рівний куту профілю конічної замкової нарізі, при заданих рухах відбувається динамічне контактування цих деформуючих елементів 6, 7 і 8 із западиною 12 та з боковими сторонами профілю 13, 14 конічної замкової нарізі деталі 11. За рахунок такої взаємодії забезпечується одночасне якісне зміцнення всієї робочої поверхні конічної замкової нарізі деталі 11.

Зміцнення внутрішньої конічної нарізі

Зміцнення внутрішньої конічної замкової нарізі (рис. 7) деталі 15 здійснюється як і у випадку зміцнення зовнішньої конічної замкової нарізі. Під час зміцнення деталі 15 (елемента бурильної колони) із внутрішньою конічною замковою нарізною, яка має западину 16, меншу 17 і більшу 18 сторони профілю, інструмент взаємодіє деформуючими елементами 6, 7 і 8 із вказаними западиною 16 та боковими сторонами профілю внутрішньої конічної замкової нарізі 17, 18 відповідно (рис. 7). Зміцнені деталі представлено на рисунку 8.

Перевірка роботоздатності інструмента для фрикційного зміцнення конічних нарізей

З метою порівняння втомної міцності деталей, зміцнених за допомогою розробленого інструменту, та деталей без зміцнення було здійснено випробування на втомну міцність.

Розробленим інструментом було зміцнено деталі геологорозвідувального замка 3-50, виготовлені зі сталі 40Х (рис. 8).

Завдяки високій швидкості обертання інструмента та відповідним контактним напру-

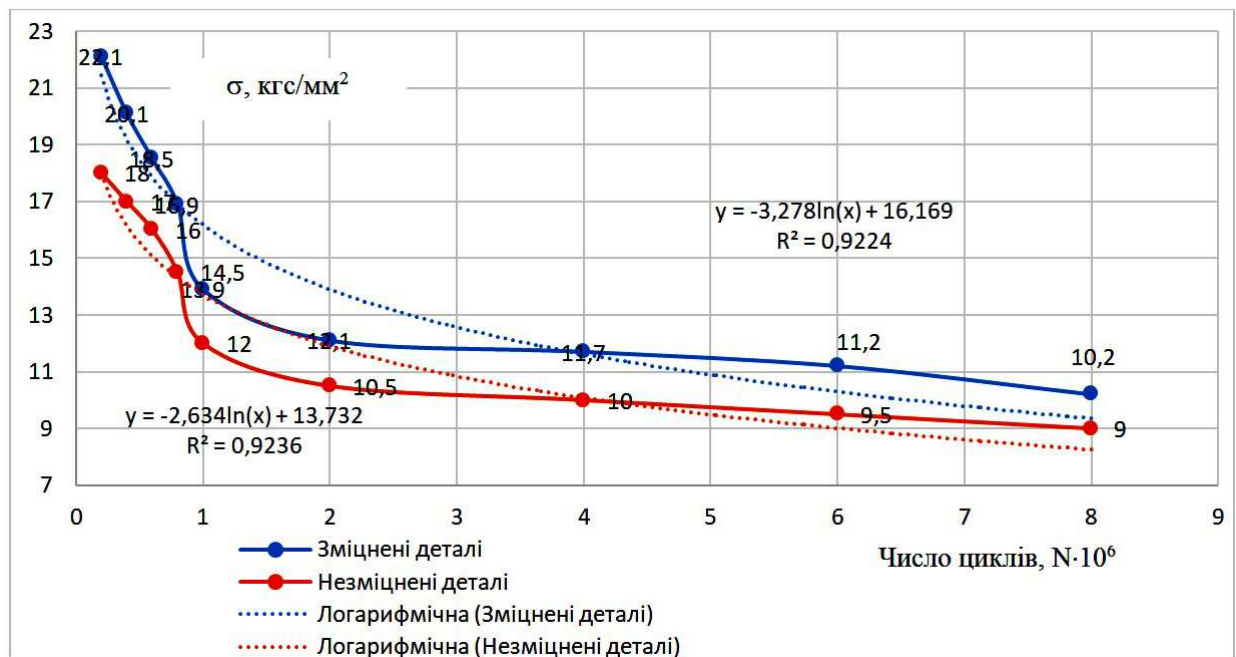


Рисунок 9 – Результати випробування на втомну міцність деталей геологорозвідувальних замків 3-50

женням у місцях дотику інструмента із западиною та із боковими сторонами профілю конічної замкової нарізі деталі створюються сприятливі умови для формування на сталі білих шарів із покращеними фізико-механічними властивостями та сприятливим розподілом залишкових внутрішніх напружень стискування. Такі поверхневі структури мають високу зносостійкість та корозійну стійкість і забезпечують підвищення умовної границі корозійної втоми, що важливо для забезпечення довговічності нарізевих замкових з'єднань бурильних труб, на які діють циклічні навантаження в процесі буріння свердловин. Крім того, обробка заявленим інструментом за описаною технологією зменшує шорсткість зміцненого шару конічної замкової нарізі до величини $Ra=0,4 \dots 0,5$ мкм, що важливо у аспекті забезпечення надійної герметизації конічних нарізевих замкових з'єднань бурильних труб при їх збиранні у колону та підвищення експлуатаційних властивостей.

Встановлено, що зазвичай тріщина виникає у області першого витка, де концентрація навантаження, що передається нарізю, є найбільшою. Для зміцнених деталей спостерігається ефект гальмування розвитку втомної тріщини в результаті зміцнення зони матеріалу, прилеглої до вершини тріщини.

Результати випробувань на втомну міцність обох пар деталей відображено на рисунку 9

За результатами випробування встановлено, що втомна міцність зміцнених деталей, ви-

готовлених із сталі 40ХН, була у 1,15-1,2 рази вищою за втомну міцність незміцнених деталей із того самого матеріалу.

За одержаними даними побудовано регресійні залежності:

для зміцнених деталей:

$$\sigma = -3,278 \ln(N \cdot 10^6) + 16,169, R^2 = 0,9224, \text{ кгс/мм}^2;$$

для незміцнених деталей:

$$\sigma = -2,634 \ln(N \cdot 10^6) + 13,732, R^2 = 0,9236, \text{ кгс/мм}^2.$$

Відтак було проведено металографічне дослідження зміцнених деталей. Встановлено, що у поверхневих шарах утворюється зміцнений шар товщиною 50-65 мкм з мікротвердістю на 35% більшою за мікротвердість основного металу у 2,17 ГПа і розміром зерен у 50-70 нм [24, 25].

Факторами зменшення втомної міцності, на нашу думку, є концентратори напружень, які викликані нарізанням нарізі. Так, для нарізаної нарізі западини нарізі є концентраторами напружень, тоді як для зміцненої нарізі не має місця зняття матеріалу. Різниця у технології виготовлення викликає різницю у макроструктурі матеріалу. Як зазначають Копей В.Б та ін., внаслідок зміцнення металу вплив шорсткості поверхні зменшується. Шари накатаної нарізі викривлені як на поверхні, так і біля впадин витка та мають волокнисту структуру [15].

Окрім зазначених факторів циклічна міцність нарізей зменшується внаслідок асиметрії навантаження та фреттинг процесів, які вини-

кають під дією циклічного тертя у з'єднанні [14]. Поряд із тим, під час складання нарізевих конічних з'єднань потребується момент затягування, який також підвищує напруження у з'єднанні і створює асиметричних навантажень. За певної величини моменту згвинчування нарізеве з'єднання має найбільший опір втомі.

Висновки

В результаті проведених досліджень було розроблено конструкцію інструменту для фрикційного зміцнення конічних замкових нарізей із модифікованими боковими деформуючими елементами. Запропонована конструкція інструменту забезпечує зменшення одностороннього зносу його бокових деформуючих елементів за рахунок того, що ці деформуючі елементи одночасно взаємодіють із боковими поверхнями конічної замкової нарізі. Виконання бокових деформуючих елементів у вигляді кільцевих еліпсоподібних поверхонь дозволяє підвищити період стійкості інструменту за рахунок збільшення довжин їх робочих частин, що взаємодіють із профілем конічної замкової нарізі. При цьому збільшується плавність роботи інструменту і знижується його вібрація, що позитивно впливає на точність та якість зміцненого профілю конічної замкової нарізі та економічність технологічного процесу фрикційного зміцнення.

Метами геометричного моделювання визначено геометричні розміри деформуючих елементів запропонованого інструменту для фрикційного зміцнення конічних нарізей.

Проведено фрикційне зміцнення деталей геологорозвідувального бурового замка 3-50, виготовлених із сталі 40Х. Після зміцнення було проведено металографічне дослідження зміцнених деталей. Встановлено, що у поверхневих шарах утворюється зміцнений білий шар товщиною 50-65 мкм, мікротвердістю на 35% більшою за мікротвердість основного металу у 2,17 ГПа.

Виконані експериментальні дослідження втомної міцності а машині ИМА-50 нарізевих деталей нафтопромислового обладнання, виготовленого із сталі 40ХН, зміцнених і незміцнених запропонованим інструментом. Під час розроблення методики випробувань деталей на втомну міцність був прийнятий спосіб навантаження зразка за схемою чистого згину з обертання. Встановлено, що втомна міцність зміцнених деталей, виготовлених із сталі 40ХН, була у 1,15-1,2 рази вищою за втомну міцність незміцнених деталей із того ж самого матеріалу

У подальшому плануються дослідження дослідити втомну міцність деталей з'єднання, виготовлених із різних матеріалів – сталі-деформований алюмінієвий сплав.

Література

1. Самарін О.Є. Дослідження міцності різьбової пари з накатною різьбою. *Науковий вісник Херсонської державної машинобудівної академії* 2013. №1 (8). С.190-194. URL: http://kma.ks.ua/ua/images/science/publications/2013/1_8/28.pdf
2. Рапацький Ю.Л., Липка В.М. Математична модель процесу накатування зовнішніх різей роликками. *Вісник СевНТУ: зб. наук. пр.. Серія: Машиноприладобудування та транспорт.* 2010. Вип. 111/2010. С.138-143. URL: <http://lib.sevsu.ru:8080/jspui/bitstream/123456789/2716/1/111-27.pdf>
3. Кудрявцев И.В., Щербюк Н.Д., Газанчан Ю.И. Повышение несущей способности крупных резьбовых соединений поверхностно-пластической деформацией. *Вестник машиностроения.* 1982. № 6. С. 44-56.
4. Грудов А. А., Комаров П. Н., Хостикоев М. 3. Тангенциальные резьбонакатные головки типа ТНГС. *Станки и инструмент*, 1976.
5. ГОСТ 6211–81 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба трубная коническая.
6. Хостикоев М.З., Агеев В.Н. Расширение технологических возможностей и эффективности многоцелевых станков путем применения в наладках тангенциальных резьбонакатных головок. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2016. № 8. С. 195–199.
7. Песин М.В. Научные основы моделирования процесса упрочнения впадины резьбы бурильных труб обкатыванием роликом. *Экспозиция Нефть Газ.* 2013. № 5 (30). С. 68–70.
8. Песин М.В. Повышение эффективности эксплуатации бурильных труб на основе разработки научных основ технологического процесса упрочнения резьбы. *Академический журнал Западной Сибири.* 2013. №4 (47). С. 26-27.
9. Пат. № 4,576,033. США, МПК В21Н 3/06. Thread Rolling Die Construction / Richard H. Corrette. № 558,947; заявл. 7.12 1983 ; опубл. 18.03.1986.
10. Пат. №US 9,643,236 В2 США, МПК (2006.01) В21Н 3/04, В21Н 3/06. Thread rolling die and method of making same / Prakash K. Mirchandani, V. Brian Shook, Grayson L. Bowman, Matthew D. Benninghoff Brown. – № 12/616,300; заявл. 11.11.2009 ; опубл. 9.05.2017.

11. Пат. № US 8,506,227 В2 США, МПК F16B 23/00. Thread forming screw thread and corresponding thread roll die / Balasingam Karupaya. № 12A665,281; заявл. 20.06.2007; опубл. 13.08.2013.
12. Пат. № 3,691,806 США, МПК B21H 3/02, B23G 7/02, B2 LB 1/16. Thread rolling machine for manufacturing a particular type of rolled thread / Yasuo Hanzawa. № 82,938; заявл. 22.10.1970; опубл. 19.09.1972.
13. Пат. № 4,633,696 США, МПК B21H3/06. Thread rolling method / Kimimasa Murayama; Shoji Ikawa; Shinobu Kaneko. № 762,396; заявл. 05.08 1985; опубл. 19.09.1972.
14. Пат. № 4,870,848 США, МПК B21H 3/04. Tapered rolled thread bar joint / Anton M. Kies, Harry C. van den Nieuwelaar, Geoff M. Bowmer. № 251,315; заявл. 30.09 1988; опубл. 03.10.1989.
15. Пат. № CN100595000С, МПК B21 H 3/08, В 23 G 7/00. Screw rolling machine for inner thread. – № CN200710041828А; заявл.
16. А. с. СССР № 1058699, В 21 Н 5/00. Инструмент для упрочнения впадин зубчатых колес / О.В. Берестнев, В.Л. Басинюк, Н.Н. Ишин, П.А. Чепя (СССР). № 3490951 / 25-27; заявл. 09.07.82; опубл. 07.12.83, Бюл. № 45.
17. Кирпичников Ф. П., Быкасов В. И. Голочки для накатывания конической резьбы. *Станки и инструмент*. 1978. № 3.
18. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов. К.: Наукова думка, 1995. 253 с.
19. Упрочнение резьб инструментом фирмы ECOROLL AG URL: <https://stankarena.ru/article/uprochnenie-rezb-instrumentom-firmy-ecoroll-ag.html>
20. А. с. СССР, № 1516206, В 21 Н 3/04. Инструмент для упрочнения профилей / В.Я. Белоусов, И.Ю. Гладий, З.Д. Василечко, И.М. Стоцкий, Л.Я. Ропяк, Я.В. Билусяк, М.Н. Микитюк (СССР). № 4379539 / 31-27; заявл. 13.11.87; опубл. 23.10.89, Бюл. № 39.
21. А. с. СССР, № 118355, В 24 В 39/00. Инструмент для фрикционного поверхностного упрочнения / В.И. Кырылив, Т.Н. Каличак (СССР). – 4732876/27; заявл. 29.08.90 (46) 15.02.92. Бюл, N 6 (71).
22. Северинчик Н. А., Копей Б. В. Долговечность и надежность геологоразведочных бурильных труб. М.: Недра, 1979. 176 с.
23. Вплив технології виготовлення на міцність різби насосної штанги / Б. В. Копей, В. В. Михайлюк, О. Р. Мартинець, Ю. Я. Бублінський. *Нафтогазова енергетика*. 2014. № 2. С. 14-20. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nge_2014_2_3.
24. Вплив нанокристалічного зміцненого поверхневого шару на зносостійкість сірого чавуну при терті з граничним мащенням / І. В. Гурей, В. І. Гурей, П. Р. Дмитерко. *Сучасні технології в машинобудуванні*. 2014. Вип. 9. С. 23-32. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stvm_2014_9_6.
25. Швец В.В., Макара Е.Ф., Яковлева Э.В. Фазовый состав белых слоев на сталях 40Х и 50ХФА полученных фрикционным упрочнением. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 1985. №3. С. 75-78.
26. Беляев М.С., Хвацкий К.К., Горбовец М.А. Сравнительный анализ российского и зарубежных стандартов испытаний на усталость металлов. *Труды ВИАМ*: электрон. науч.-технич. журн. 2014. № 9. С. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.09.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-11-11.

References

1. Samarin O.Ie. Doslidzhennia mitsnosti rizbovoi pary z nakatnoiu rizboiu. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi mashynobudivnoi akademii*. 2013. No 1 (8). P. 190-194. URL: http://kma.ks.ua/ua/images/science/publications/2013/1_8/28.pdf [in Ukrainian]
2. Rapatskyi Yu.L., Lypka V.M. Matematychna model protsesu nakatuvannia zovnishnikh rizej rolykamy. *Visnyk SevNTU: zb. nauk. pr.. Serii: Mashynopryladobuduvannia ta transport*. 2010. Vyp. 111/2010. S.138-143. URL: <http://lib.sevsu.ru:8080/jspui/bitstream/123456789/2716/1/111-27.pdf> [in Ukrainian]
3. Povshenie nesuschey sposobnosti krupnih rezbovyyih soedineniy poverhnostno-plasticheskoy deformatsiy / I.V.Kudryavtsev, N.D.Scherbyuk, Yu.I.Gazanchan. *Vestnik mashinostroeniya*. 1982. No 6. P. 44-56. [in Russian]
4. Grudov A. A., Komarov P. N., Hostikoev M. 3. Tangentsialnyie rezbonakatnyie golovki tipa TNGS. *Stanki i instrument*. 1976. [in Russian]
5. GOST 6211–81 Osnovnye normy vzaimozameniamosti. *Rezba trubnaia konicheskaiia*. [in Russian]
6. Hostikoev M.Z., Ageev V.N. Rasshirenietehnologicheskikh vozmozhnostey i effektivnosti mnogotselevyyih stankov putem primeneniya v naladkah tangentsialnyih rezbonakatnyih golovok. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2016. No 8. P. 195–199. [in Russian]
7. Pesin M.V. Nauchnyie osnovy modelirovaniya protsesa uprochneniya vpadiny rezby burilnyih trub obkativaniem rolikom.

Ekspozitsiya Neft Gaz. 2013. No 5 (30). P. 68–70. [in Russian]

8. Pesin M.V. Povyshenie effektivnosti eksploatatsii burilnykh trub na osnove razrabotki nauchnykh osnov tehnologicheskogo protsessa uprochneniya rezbyi. *Akademicheskii zhurnal Zapadnoy Sibiri.* 2013. No 4 (47). P. 26-27. [in Russian]

9. Pat. 4,576,033. SShA, MPK B21H 3/06. Thread Rolling Die Construction / Richard H. Corrette. No 558,947; zayavl. 7.12 1983 ; opubl. 18.03.1986.

10. Pat. US 9,643,236 B2 SShA, MPK (2006.01) B21H 3/04, B21H 3/06. Thread rolling die and method of making same / Prakash K. Mirchandani, V. Brian Shook, Grayson L. Bowman, Matthew D. Benninghoff Brown. – No 12/616,300; zayavl. 11.11.2009 ; opubl. 9.05.2017.

11. Pat. US 8,506,227 B2 SShA, MPK FI6B 23/00. Thread forming screw thread and corresponding thread roll die / Balasingam Karupaya. No12A665,281; zayavl. 20.06.2007 ; opubl. 13.08.2013.

12. Pat. 3,691,806 SShA, MPK B21H 3/02, B23G 7/02, B2 LB 1/16. Thread rolling machine for manufacturing a particular type of rolled thread / Yasuo Hanzawa. No 82,938; zayavl. 22.10.1970 ; opubl. 19.09.1972.

13. Pat. 4,633,696 SShA, MPK B21H3/06. Thread rolling method / Kimimasa Murayama; Shoji Ikawa; Shinobu Kaneko. No 762,396; zayavl. 05.08 1985; opubl. 19.09.1972.

14. Pat. 4,870,848 SShA, MPK B21H 3/04. Tapered rolled thread bar joint / Anton M. Kies, Harry C. van den Nieuwelaar, Geoff M. Bowmer. No 251,315; zayavl. 30.09 1988; opubl. 03.10.1989.

15. Pat. # CN100595000C, MPK V21 N 3/08, V 23 G 7/00. Screw rolling machine for inner thread. [in Russian]

16. A. s. SSSR 1058699, B 21 H 5/00. Instrument dlya uprochneniya vpadin zubchastykh koles / O.V. Berestnev, V.L. Basinyuk, N.N. Ishin, P.A. Chera (SSSR). No 3490951 / 25-27 ; zayavl. 09.07.82 ; opubl. 07.12.83, Byul. No 45.

17. Kirpichnikov F. P., Byikasov V. I. Golovki dlya nakatyvaniya konicheskoy rezbyi. *Stanki i instrument.* 1978. No 3. [in Russian]

18. Babey Yu.I. Poverhnostnoe uprochnenie metallov. K. : Naukova dumka, 1995. 253 p. [in Russian]

19. Uprochnenie rezb instrumentom firmy ECOROLL NG URL: <https://stanko-arena.ru/article/uprochnenie-rezb-instrumentom-firmy-ecoroll-ag.html>[in Russian]

20. A. s. SSSR, No 1516206, B 21 H 3/04. Instrument dlya uprochneniya profiley / V.Ya. Belousov, I.Yu. Gladiy, Z.D. Vasilechko, I.M. Stotskiy, L.Ya. Ropyak, Ya.V. Bilusyak, M.N. Mikityuk (SSSR). No 4379539 / 31-27 ; zayavl. 13.11.87; opubl. 23.10.89, Byul. No 39. [in Russian]

21. A. s. SSSR, No 118355, V 24 V 39/00. Instrument dlya friktsionnogo poverhnostnogo uprochneniya / V.I. Kyiryliy, T.N. Kalichak (SSSR). – 4732876/27; zayavl. 29.08.90 (46) 15.02.92.Byul, No 6 (71). [in Russian]

22. Severinchik N. A., Kopey B. V. Dolgovechnost i nadezhnost geologorazvedochnykh burilnykh trub. M.: Nedra, 1979. 176 p. [in Russian]

23. Vplyv tekhnologii vyhotovlennia na mitsnist rizby nasosnoi shtanhy / B. V. Kopei, V. V. Mykhailiuk, O. R. Martynets, Yu. Ya. Bublinskiy. *Naftohazova enerhetyka.* 2014. № 2. P. 14-20. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nge_2014_2_3. [in Ukrainian]

24. Vplyv nanokrystalichnoho zmitsnenoho poverkhnevoho sharu na znosostiivist siroho chavunu pry terti z hranychnym mashchenniam / I. V. Hurei, V. I. Hurei, P. R. Dmyterko. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni.* 2014. Vyp. 9. S. 23-32. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stvm_2014_9_6. [in Ukrainian]

25. Shvets V.V., Makar E.F., Yakovleva E.V. Fazovyyi sostav belykh sloev na stalyah 40H i 50HFA poluchennykh friktsionnyim uprochneniem. *Fiziko-himichna mehanika materIaliv.* 1985. No3. P. 75-78. [in Russian]

26. Belyaev M.S., Hvatskiy K.K., Gorbovets M.A. Sravnitelnyy analiz rossiyskogo i zarubezhnykh standartov ispytaniy na ustalost metallov. Trudy VIAM: elektron. nauch.-tehnic. zhurn. 2014. No 9. P. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (data obrascheniya: 20.09.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-11-11. [in Russian]