

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ПРИГОРОВСЬКА ТЕТЯНА ОЛЕКСІЇВНА

УДК 621.91:621.757

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ
БУРОВИХ ДОЛІТ РІЖУЧЕ-СТИРАЮЧОЇ ДІЇ**

05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2021

Дисертація на правах рукопису.

Роботу виконано на кафедрі комп'ютеризованого машинобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, доцент
Роп'як Любомир Ярославович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
професор кафедри комп'ютеризованого машинобудування
(м. Івано-Франківськ).

Офіційні опоненти

доктор технічних наук, професор
Гурей Ігор Володимирович,
Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри технології машинобудування.
(м. Львів)

доктор технічних наук, професор
Клочко Олександр Олександрович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри технології машинобудування та металорізальні верстати
(м. Харків).

Захист дисертації відбудеться «12» травня 2021 р. об 11:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.052.03 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, Україна, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, корп. 2, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, корпус № 2.

Автореферат розіслано «12» квітня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А. Є. Дячун

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Схвалена урядом Енергетична стратегія України до 2035 року першочерговим завданням висуває розвиток власної ресурсної бази і збільшення обсягів видобутку вуглеводнів, що неможливо без використання високоефективного породоруйнівного інструменту вітчизняного виробництва. Сьогодні бурові долота ріжуче-стираючої дії PDC (*polycrystalline diamond compact*) широко використовують під час буріння свердловин на нафту і газ і воду у твердих гірських породах, витісняючи при цьому тришарові долота. Це пояснюється такими перевагами доліт типу PDC: відсутністю рухомих елементів у конструкції доліт, що виключає аварійні ситуації, які пов'язані з виходом з ладу підшипникових опор інструменту; технологічністю виготовлення та ремонтпридатністю конструкції; високою зносостійкістю різальних елементів, що підвищує проходку інструменту та зменшує кількість спускально-піднімальних операцій; високою механічною швидкістю буріння, що зменшує собівартість 1 м проходки; меншими витратами енергії на руйнування гірської породи, оскільки порода руйнується шляхом різання. Бурові долота за допомогою конічних нарізей приєднують до колони бурильних труб, і в подальшому працюють за умов високих механічних навантажень і температур, в агресивних середовищах, які містять у своєму складі абразивні частинки – все це висуває високі вимоги до якості виготовлення доліт. Якість бурових доліт, формується як на стадії проектування, так і на стадії виготовлення. Дисертаційна робота спрямована на вирішення актуальної науково-технічної проблеми в області технології машинобудування, забезпечення якості та підвищення ресурсу роботи бурових доліт шляхом удосконалення технології виготовлення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у межах планових державних та господарсько-договірних науково-дослідних робіт з розвитку нафтогазопромислового комплексу України, зокрема держбюджетної науково-дослідної роботи за темою «Наукове обґрунтування створення мобільних установок і інструменту для буріння та ремонту свердловин вантажопідйомністю 1470 кН», ДР № 0101U001667 (здобувачка – виконавець), господарського договору № 139/03 «Розробка та виготовлення долота ріжучої дії діаметром 292,9 мм, оснащеного породоруйнівними елементами нового технічного рівня для буріння порід середньої твердості» (замовник – Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАНУ (здобувачка – виконавець); а також є складовою досліджень, що виконувалися в межах науково-дослідної роботи, яка фінансується за рахунок видатків загального фонду державного бюджету Д 4–19–П (РК 0119U002231) «Розробка комплексної технології покращення експлуатаційних властивостей виробів машинобудування мікродуговим оксидуванням» (здобувачка – відповідальний виконавець), та відповідає напрямкам і завданням «Енергетична стратегія України «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» на період до 2035 року», схваленою Розпорядженням КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р.

Мета й завдання дослідження. *Мета роботи* – дослідити та вдосконалити технологічне забезпечення виготовлення бурових доліт ріжуче-стираючої дії шляхом використання системного підходу до формування їх якості задля підвищення ресурсу їх роботи.

Відповідно до мети визначено **завдання** дослідження:

1. Проаналізувати умови роботи, технологічні процеси та матеріали для виготовлення заготовок корпусів, ніпелів та ріжучих елементів, механічної обробки конічних замкових нарізей та складання доліт ріжуче-стираючої дії.

2. Провести математичне моделювання взаємодії долота із гірською породою для визначення кінематичних та силових параметрів його роботи, дослідити вплив похибок виготовлення та складання на величину кінематичних та силових параметрів роботи долота, що необхідно для обґрунтування режимів випробовування доліт вказаного типу під час вибору раціональних технологічних параметрів процесів виготовлення деталей та складання доліт.

3. Обґрунтувати способи отримання заготовок корпусів доліт, технологічні режими литва та зварювання, а також схеми виконання зварювальних швів для підвищення точності складання доліт.

4. Дослідити вплив технологічних режимів нарізання і зміцнення конічних нарізей та методів складання на показники якості бурових доліт та встановити емпіричні залежності величин шорсткості від технологічних режимів різання під час шліфування конічних замкових нарізей на деталях зі сталі та твердого сплаву.

5. Розробити технологічне оснащення для контролю конічних замкових нарізей та геометричних параметрів бурових доліт, а також обладнання для стендових випробовувань доліт і впровадити результати досліджень у виробництво та навчальний процес.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси виготовлення деталей і складання бурових доліт ріжуче-стираючої дії зі зміцненням робочих поверхонь конічних нарізей та чинники формування їх експлуатаційних показників.

Предмет дослідження – взаємозв'язок конструкторських та технологічних факторів, що забезпечують якість виготовлення та зміцнення робочих поверхонь конічних нарізей бурових доліт ріжуче-стираючої дії, складання роз'ємних та нероз'ємних з'єднань бурового інструменту, виготовлених із різних матеріалів, а також способи підвищення його якості.

Методи дослідження. У роботі використано системний підхід до вивчення об'єкта дослідження, що передбачає математичне моделювання, використання теоретичних положень технології машинобудування, механіки, теорії різання, а також результатів аналітичних та експериментальних досліджень.

Теоретичні дослідження базуються на теорії технології машинобудування, теорії різання, механіки деформівного твердого тіла, а також на методах математичного і комп'ютерного моделювання. Для експериментальних досліджень використано методи фізичного моделювання, математичного планування експериментів, дисперсійного і кореляційного аналізів, метод скінченних елементів. Експериментальні результати отримано на розробленому та/або модернізованому технологічному та випробовувальному обладнанні.

Наукова новизна і теоретичне значення: полягає в подальшому розвитку науково-прикладних основ удосконалення технологічного забезпечення якості виготовлення бурових доліт ріжуче-стираючої дії. При цьому *вперше*:

- запропоновано системний підхід до забезпечення якості доліт ріжуче-стираючої дії, який включає стадії як нарізання конічної замкової та зміцнення нарізі із урахуванням кута підйому гвинтової лінії, так і складання виробів із конічними нарізевими з'єднаннями для роботи в екстремальних умовах;

- визначено момент згвинчування елементів нарізевих з'єднань із різних матеріалів із урахуванням різниці температур складання та експлуатації в свердловині;

- розроблено комплексну модель забезпечення якості виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії.

Набули подальшого розвитку:

- питання технології виготовлення та зміцнення конічних нарізевих з'єднань, які працюють у екстремальних умовах за високих експлуатаційних температур, а також виконання зварювальних операцій корпусів і лопатей доліт під час складання для забезпечення точності;

- дослідження залежності основних взаємозв'язків конструкторських і технологічних факторів для забезпечення точності виготовлення бурових доліт ріжуче-стираючої дії;

- науково обґрунтовані технологічні рішення із забезпечення якості виготовлення, контролю параметрів доліт ріжуче-стираючої дії для підвищення їх експлуатаційних показників.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудівної галузі. На основі теоретичних досліджень, комп'ютерного моделювання і стендових випробувань розроблено і впроваджено технологічні процеси виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії, які передбачають раціональний вибір способу отримання заготовок корпусів доліт, рекомендації із нарізання, шліфування, та зміцнення конічних замкових нарізей, методику контролю геометричних параметрів доліт ріжуче-стираючої дії. Розроблено контрольний пристрій для оцінювання биття і точності виготовлення доліт та стенд для випробовування доліт. Розроблено комп'ютерні програми для дослідження впливу похибок виготовлення деталей нарізевих замкових з'єднань на розподіл еквівалентних напружень, які виникають у з'єднаннях деталей. Наукові результати захищено 4 патентами України на корисні моделі. Результати, одержані в роботі, впроваджено у навчальний процес підготовки студентів, які навчаються за освітньо-кваліфікаційною програмою бакалаврів і магістрів ІФНТУНГ за спеціальністю 131 – Прикладна механіка, та у виробництво в ТзОВ «Інтербур».

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати роботи отримані здобувачкою самостійно. Постановка та формулювання основних завдань досліджень, опрацювання структури, змісту роботи, а також узагальнення наукових результатів виконані разом з науковим керівником. У працях, що написані у співавторстві, здобувачкою запропоновано загальну ідею дослідження, поставлено задачі дослідження та/або узагальнено висновки [1, 2];

запропоновано загальну ідею дослідження напруженого стану шаруватих конструкцій [5]; запропоновано загальну ідею дослідження [6]; розроблено математичну модель проведення досліджень, проведено розрахунки [7]; здійснено аналіз технологічних процесів та матеріалів для виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії та узагальнено результати досліджень [8]; виконані розрахунки впливу похибок виготовлення на розподіл напружень і деформацій в елементах нарізеного з'єднання [9]; поставлено задачі дослідження, виконано дослідження режимів різання під час шліфування нарізі [10]; запропоновано загальну ідею дослідження, поставлено задачі дослідження, виконані числові дослідження [11]; здійснено розроблення конструкторсько-технологічного забезпечення, обґрунтовано розташування та технологію виготовлення озброєння PDC-доліт для підвищення їх експлуатаційних показників [12]; запропоновано загальну ідею дослідження, поставлено задачі дослідження, запропоновано математичну модель, виконано розрахунки та узагальнено висновки [13]; запропоновано загальну ідею дослідження, зроблено постановку задачі дослідження, виконано комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану долота ріжуче-стираючої дії та узагальнено висновки [14]; запропоновано загальну ідею дослідження, поставлено задачі дослідження [15]; запропоновано загальну ідею дослідження, зроблено постановку задачі дослідження, виконано комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану долота ріжуче-стираючої дії та узагальнено висновки [16]; поставлено задачі дослідження та узагальнено результати досліджень [17]; поставлено задачі, виконано дослідження режимів різання при нарізешліфуванні нарізеної поверхні [18]; проведено моделювання напружено-деформованого стану кінцевого нарізеного з'єднання [19]; виконано дослідження впливу похибок виготовлення бурового інструменту на працездатність [20]; оптимізовано режими різання [21]; запропоновано загальну ідею створення корисної моделі [22]; запропоновано введення до складу пристрою засобу для витягування нарізеного калібру [23]; запропоновано введення до складу пристрою фільтраційного стакану із зовнішніми нарізками на кінцях та використання пристрою для вибору промивних рідин під час випробовувань PDC-доліт [24]; запропоновано введення до складу суміші шламу із гальванічних ванн і використання запропонованої суміші для випробовування доліт [25]; запропоновано загальну ідею створення комп'ютерної програми, розроблено інструкцію користувача [26-29].

Публікації містять результати безпосередньої роботи здобувачки на окремих етапах дослідження, повною мірою відображають основні положення та висновки роботи. Авторська участь здобувачки в опублікованих наукових працях погоджена зі співавторами.

Апробацію матеріалів дисертації здійснено шляхом їх презентації та обговорення на науково-практичних та міжнародних конференціях а саме: XVII Всеукраїнській науково-практичній конференції *«Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво»* (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія, 01 – 03 листопада 2017 р.); Міжнародній

науковій конференції «*Матеріали для роботи в екстремальних умовах*» (м. Київ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 01 – 03 листопада 2017 р.); VII-й Міжнародній науково-технічній конференції «*Прогресивні технології в машинобудуванні*» (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка», 6 – 10 лютого 2018 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «*Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем*» (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет, 10 – 12 травня 2018 р.); XVIII Міжнародній конференції *8-th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers CAOL*2019* (Bulgaria, Sozopol, 2 – 3 September 2019 р.) (Scopus); XI Міжнародній конференції *11th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies ICAMaT 2020* (Romania, Bucharest, 29 – 30 October 2020). У повному обсязі робота доповідалась і отримала позитивний відгук на розширених наукових семінарах ІФНТУНГ (2020 р.) та розширеному науково-технічному семінарі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (2021 р.).

Відомості про кількість публікацій. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 29 наукових праць, з них: 8 статей у журналах, що представлені в науково-метричних базах Scopus та Web of Science; 2 тези конференцій, що представлені в науково-метричних базах Scopus; 6 статей у фахових виданнях, 4 тези міжнародних конференціях; 1 закордонна монографія; 4 патенти України на корисні моделі та 4 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерні програми).

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з анотації, вступу, п'ятих розділів, висновків до кожного з них, загальних висновків, списку використаних джерел (139 позицій) та додатків на 19 сторінках. Загальний обсяг дисертації складає 225 сторінок, основний зміст дисертації викладено на 180 сторінках. Робота містить 44 таблиці та 95 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет, методи та завдання дослідження. Розкрито наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів. Наведено інформацію про структуру та обсяг роботи і результати апробації дисертації.

У **першому розділі** – «**Аналіз умов роботи доліт, технологій виготовлення та постановка задачі дослідження**» розглядається проблема забезпечення якості доліт ріжуче-стираючої дії та технологічні рішення, що використовуються для цього.

Проаналізовано результати відпрацювань доліт ріжуче-стираючого типу на родовищах України і світу. Встановлено, що передчасний вихід з ладу бурових доліт спричинений, переважно, нерівномірним навантаження на різці долота, нерівномірним розподілом навантаження між витками нарізі (з'єднання бурової колони і долота); при чому негативний вплив цих факторів підсилюється через

екстремальні умови експлуатації (значні навантаження, високі температури, абразивне і корозійне середовище тощо).

Розглянуто основні вимоги до якості доліт ріжуче-стираючої дії, які приведені у вітчизняних та і міжнародних стандартах. Проаналізовано основні технологічні рішення забезпечення якості виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії – виготовлення деталей доліт та їх складання.

На основі аналізу наукового доробку як вітчизняних вчених В.П. Бондаренка, Л.О. Борушака, Ю.М. Бугая, О.Ю. Витязь, І.В. Воєвідка, В.В. Врюкало, О.Т. Драганчук, Я.М. Дрогомирецького, Є.І. Крижанівського, А.Л. Майстренка, В.М. Мойсишин, О.Р. Ониська, В.Г. Панчука, Л.Д. Пітулей, Д.Ю. Петрини, Ю.Д. Петрини, А.М. Сліпчука, І.І. Чудика, І.О. Шуляр, Л.Є. Шкіца, Р.С. Якіма, І.С. Якіма та ін., так і зарубіжних – В.А. Барвінка, І.В. Безбородової, О.Г. Блінкова, М.А. Борисова, Р.В. Буткевича, А.М. Журавльова, А.П. Мамонтова, Д.Є. Мосіна, Г.М. Сорокіна, А.Р. Яхіна та учнів встановлено, що дослідники переважно зосереджуються на окремих питаннях технології виготовлення (наприклад, тільки паяння різців), тоді як системний підхід до технологічного забезпечення якості виготовлення доліт типу PDC не розглядалося. Зокрема потребують дослідження питання впливу технологічних параметрів механічної обробки і зміцнення конічних нарізей, а також методів складання та схем зварювання на показники точності доліт.

На основі результатів проведеного аналізу існуючих і перспективних технологічних рішень та методів підвищення точності і забезпечення якості виготовлення бурових доліт ріжуче-стираючої дії здійснено постановку завдань досліджень.

У другому розділі – **«Теоретичне обґрунтування вибору режимів випробовування для дослідження впливу технологічних параметрів виготовлення доліт на їх роботоздатність»** розглянуто вплив похибок виготовлення доліт на розподіл навантаження між лопатями долота та оцінювання міцності за наявності похибок. Встановлено основні види похибок, що виникають під час виготовлення доліт на всіх етапах технологічного процесу. Розроблено математичну модель для визначення впливу технології виготовлення долота (биття в початковий момент часу) та биття долота в процесі експлуатації на показники відпрацювань (притискную силу, додаткове радіальне заглиблення, додаткову радіальну силу та максимальне напруження в лопаті) (рис. 1). Отримано вираз для визначення додаткової притискної сили на долоті, яка виникає внаслідок похибок виготовлення – перекошення осей корпусу і ніпелю долота:

$$P = \frac{\Delta_{1p}}{\frac{1}{3} \frac{l^3}{EJ} + \frac{1}{C}} \quad (1)$$

де Δ_{1p} – поперечні переміщення нижнього торця пружної системи (звільненого від в'язей) від дії відповідно одиничної сили та зовнішнього силового навантаження, м; E – модуль пружності матеріалу бурильних труб, ГПа;

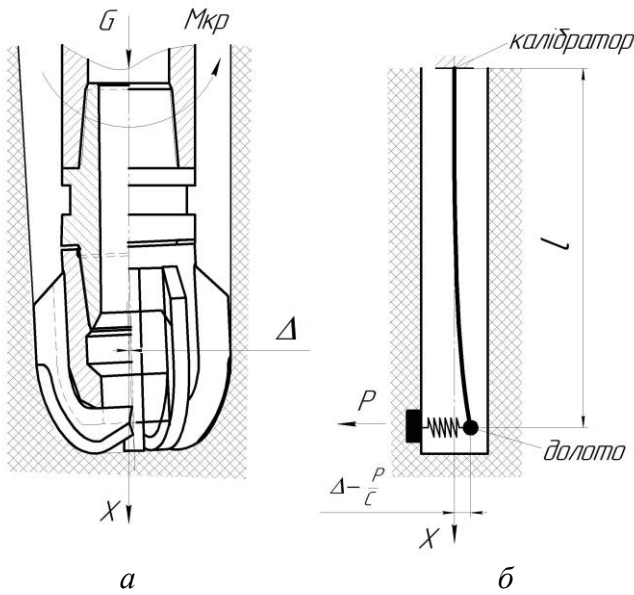


Рис. 1. Взаємодія долота із вибоєм (а) та розрахункова схема для визначення притисної сили (б)

l – відстань від долота до калібратора, м; C – жорсткість модельної пружної опори, Н/м; $J = 0,05D^4[1 - (d/D)^4]$ – осьовий момент інерції перерізу бурильних труб, м⁴; d, D – відповідно внутрішній та зовнішній діаметри бурильних труб, м.

Розглянуто штатну і нештатну (із биттям долота) ситуації (рис. 2). В нештатному режимі найбільші розтягуючі та стискаючі напруження в матеріалі лопаті долота становлять:

$$\begin{cases} \sigma_{\max}^+ \\ \sigma_{\max}^- \end{cases} = -\frac{N_x}{A_{bl}} \pm \frac{M_z}{W_z} = -\frac{P_i}{Hh} \pm \frac{(\sigma_u(a_0 + \Delta_r^i)H) \left(L - \frac{a_0 + \Delta_r^i}{2} \right) + fP_i L}{\frac{Hh^2}{6}}, \quad (2)$$

де σ_{\max}^+ та σ_{\max}^- – найбільші розтягуючі напруження та найбільші стискаючі напруження в лопаті долота, Н/м²; M_z – максимальний згинальний момент, Нм; W_z – осьовий момент опору, м³; L та h – відповідно висота та ширина лопаті, м; A_{bl} – площа поперечного перерізу лопаті, м², N_x – осьова сила, Н; f – коефіцієнт тертя контактної пари лопать – гірська порода; P_i та P_{ii} – радіальні та тангенціальні сили у відповідних напрямках, Н; a_0 – радіальне заглиблення лопаті долота в гірську породу, м; σ_u – границя міцності гірської породи, МПа; Δ_r^i – радіальне переміщення лопаті, м.

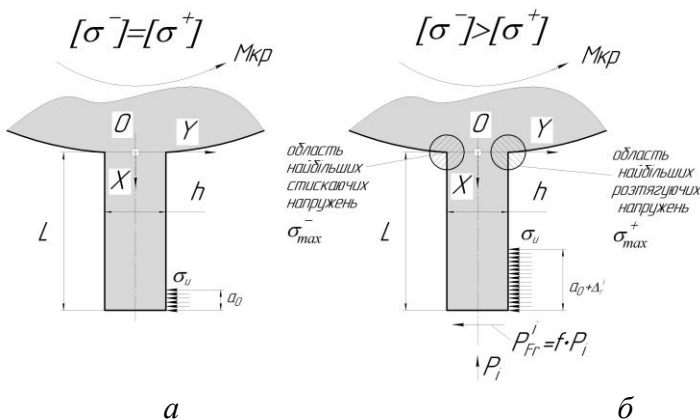


Рис. 2. Розрахункова схема для оцінки міцності лопаті долота: а – штатний режим експлуатації; б – нештатний режим експлуатації

Виконане розрахункове дослідження максимальних напружень для різних значень похибки неспіввідності між корпусом долота і ніпелем Δ , мм (табл. 1) для таких числових даних: $l = 1$ м, $d = 147$ мм, $D = 190,5$ мм, $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па. Буріння проводять шестилопатеvim долотом із діаметром $D_b = 292,0$ мм;

довжина лопаті $H = 226$ мм; ширина лопаті $h = 29,8$ мм; висота лопаті $L = 49$ мм. Порода – вапняк дрібнокристалічний з коефіцієнтом постелі $k = 490$ МН/м³ та границею міцності $\sigma_u = 90$ МПа. Коефіцієнт тертя між лицьовою поверхнею лопатей і породою прийняли $f = 0,12$, крутний момент – 3 кНм (роторне буріння). Максимальні напруження в лопатях долота за $\Delta = 0$ мм становлять 167,5 МПа.

Таблиця 1
Максимальні напруження за різних величин похибки виготовлення долота

Показник	Похибка Δ , мм				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Притискна сила P , кН	1,45	2,89	4,33	5,78	7,22
Додаткове радіальне заглиблення Δ_r , мм	0,146	0,292	0,438	0,584	0,730
Додаткова радіальна сила P_0 , кН	0,48	0,96	1,44	1,92	2,41
Максимальне напруження в лопаті $ \sigma_{\max}^- $, МПа	202,2	233,5	264,8	296,2	327,3

На основі результатів проведених теоретичних досліджень встановлено істотний вплив похибок виготовлення долота на зростання сил різання та рівень напружень в лопаті долота. Для випробування доліт вибрано такі режими: частота обертання – $n = 45$ хв⁻¹, крутний момент 1,5–3,0 кНм.

У третьому розділі – «Вибір матеріалів, розроблення технології виготовлення бурових доліт та обладнання для їх випробувань» здійснено вибір матеріалів і технологій для виготовлення доліт із суцільним корпусом та із привареними лопатями, які використовувалися для експериментальних досліджень впливу похибок виготовлення доліт на показники роботи долота.

Досліджували долота із суцільним корпусом (литі корпуси) та із привареними лопатями. Технологічний процес виготовлення доліт включає такі основні операції. Для доліт із литим корпусом: лиття корпусу в кокіль; припаювання алмазно-твердосплавних пластин до різців; припаювання твердосплавних різців; виготовлення ніпелю, нарізання нарізі, шліфування зовнішньої конічної нарізі; складання корпусу із ніпелем, зварювання ніпеля із корпусом. Для доліт із привареними лопатями: фрезерування корпусу, нарізання нарізі; припаювання алмазно-твердосплавних пластин (АТП) до різців; припаювання різців до лопатей долота з постійним регулюванням нагрівання і термоконтролем; нарізання нарізі, шліфування зовнішньої конічної нарізі; складання корпусу долота (із лопатями та із припаяними різцями) із ніпелем долота; зварювання ніпеля із корпусом.

Матеріали і обладнання для виготовлення моделей доліт: корпус із привареними лопатями – сталь 14ХНЗМА-Ш за ТУ 14-1-5425-2001, для суцільного – 20ХН за ГОСТ 4543 – 71; твердосплавні різці (діаметром 13,5 мм та висотою 3,5 мм) – твердий сплав ВК8 ГОСТ 4411-79, пластина діаметром 13,5^{+0,5} мм, товщиною (0,7...0,8) мм, мікропорошки марки АСМ 60/40; припой – Ag-Cu-Zn-Cd, тривалість нагрівання 24 с, нагрівання за допомогою генератора ВЧИ4-10У4, потужність 10 кВт; припаювання різців до

лопатеї – припой – ПСР40, температура паяння – (650...850) °С; приварювання лопатеї – напівавтоматичне зварювання плавленням у середовищі захисних газів (82 % Ar + 18 % CO₂) дротом марки Св-08Г2С діаметром 1,2 мм на апараті «Фроніус» зварювальний струм I = 180...200 А, напруга U=18...20 В.

Деталі бурових геологорозвідувальних замків виготовляли зі сталі 40ХН ГОСТ 4543-71. Шліфування конічної нарізи ніпеля – проводили на верстаті верстат 5822М ельборовим шліфувальним кругом Т20 Д300 за ГОСТ 2424-83. Швидкість обертання $V_k = 35$ м/с, МОР – суміш мінеральних масел: 70 % індустриального масла И12А та 30 % сульфозфрезола. Для отримання математичних моделей процесу алмазного шліфування сталі 25Г2С2Н2МА і твердого сплаву ВК 8 проведено повнофакторний експеримент. Фрикційне зміцнення нарізи проводили на верстаті 16К20 модернізованим інструментом (ролик), який кріпився на шпинделі пристрою встановленого на супорті верстата (матеріал – твердий сплав ВК6 ГОСТ 3882-74). Режими зміцнення: лінійна швидкість інструменту у зоні контакту (60...70) м/с, притискне зусилля – (600...1000) Н, колова швидкість деталі (0,02 м/с...0,08) м/с. Поздовжня подача інструмента відносно деталі відповідала кроку нарізи 4,235 мм на один оберт. У зону зміцнювальної обробки подавали мастило мінеральне И12А. Контроль якості нарізей здійснювали оптичним методом. Випробовування на втомну міцність нарізевих з'єднань бурових геологорозвідувальних замків, деталі яких виготовлені зі сталі 40ХН та зміцнені модернізованим інструментом, проводили на машині ИМА – 50. Шорсткість поверхні нарізи вимірювали на профілограф-профілометрі 201. Контроль нарізей здійснювали калібрами. Для контролю биття бурових доліт розробили пристрій (рис. 3).

Експериментальне визначення деформацій у нарізевому конічному з'єднанні провели з використанням пристрою оснащеного тензодатчиками, які встановлювали на зовнішній поверхні муфти та внутрішній поверхні ніпеля.

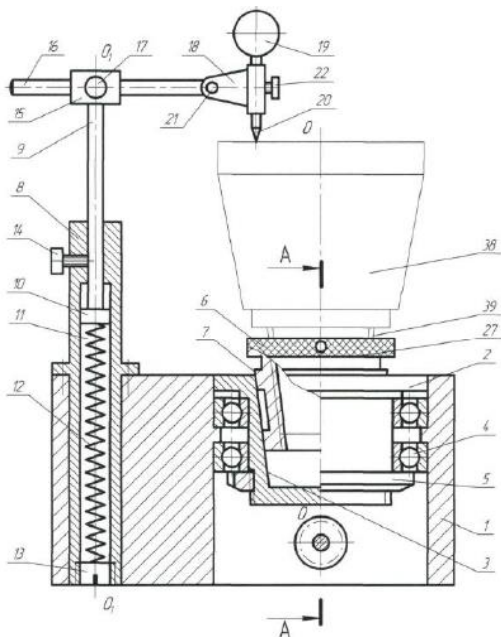


Рис. 3. Схема пристрою для контролю биття бурового долота

Досліджували бурові замки 3-203 ГОСТ 28487-90 виготовлені зі сталі 20ХН (муфта і ніпель). Крутний момент згвинчування – 3 кНм.

Випробовування доліт із різними похибками виготовлення проводили на розробленій експериментальній установці на базі вертикально-свердлильного верстату моделі 2Г175. Для вимірювання сил різання використовували трикомпонентний динамометр, а для вимірювання вібрацій – застосовували вібраційний тестер марки РСЕ-VT 3700S, який дозволяє вимірювати амплітуду, віброшвидкість та віброприскорення.

У четвертому розділі «Обґрунтування способів отримання литих та зварних заготовок корпусів доліт ріжуче-стираючої дії» досліджено напружено-деформований стан корпусів доліт та похибки виготовлення.

Для литих корпусів було виконано моделювання процесу кристалізації виливку у тріальній версії програми ProCast. Встановлено, що кристалізація виливка відбувається нерівномірно: спочатку кристалізуються ті ділянки, що мають найменшу товщину: криволінійні поверхні лопатей; серцевина виливка кристалізується найпізніше. Максимальна величина ливарних деформацій у точках, розміщених на зовнішній поверхні лопатей (зовнішній діаметр долота), становить 0,541 мм (рис. 4). Для перевірки отриманих значень деформацій під час скінченно-елементного моделювання, отримано вилівок корпусу долота. Лиття здійснювалося у кокіль, розплав заливався за температури 1450° С.

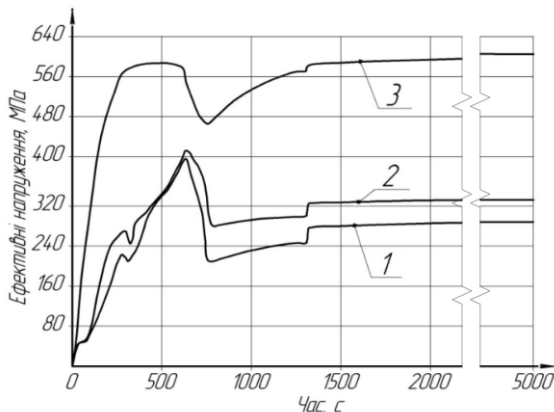


Рис. 4. Залежність зміни еквівалентних напружень у тілі виливка долота від часу: 1 – точка на зовнішньому ребрі меншої основи конуса замкової нарізі; 2 – початок контуру лопаті на корпусі долота; 3 – основа паза між лопатями заготовки

Для обґрунтування технології складання заготовки корпусу долота із лопатями зварюванням досліджено наступні схеми виконання зварних швів (рис. 5): *а* – зварний шов формують, починаючи із місця спряження циліндричної та еліпсоїдної поверхонь корпусу долота і виконують спочатку по еліпсоїдній поверхні до краю коротшої частини лопаті, а потім – вздовж циліндричної поверхні до краю довшої частини лопаті; *б* – зварний шов формують, починаючи з точки спряження коротшої частини лопаті із еліпсоїдною поверхнею корпусу долота, а потім по циліндричній поверхні до кінця довшої частини лопаті; *в* – зварний шов формують, починаючи з точки спряження довшої частини лопаті із циліндричною поверхнею корпусу долота, а потім по еліптичній поверхні до кінця коротшої частини лопаті.

Моделювання процесу складання зварюванням елементів долота проводили в середовищі ANSYS (академічна ліцензія). На першому етапі в середовищі Transient Thermal прикладався тепловий потік потужністю 4000 Вт у кожний окремий момент часу, конвекція – 50 Вт/м²с. Після формування зварного шва

Різниця величин деформацій, визначених на основі комп'ютерного моделювання і натурального експерименту, пояснюється тим, що в програмному продукті охолодження розраховувалося для виливка, що твердне в повністю облицьованому кокільі із різною товщиною стінок, тоді як на практиці кристалізація відбувалася у кокільі із однаковою товщиною стінок. Для усунення цих залишкових напружень запропоновано термічну обробку – відпал.

здійснювали охолодження упродовж 120 с до температури навколишнього середовища у 22 °С. Загальний час дослідження – 170 с.

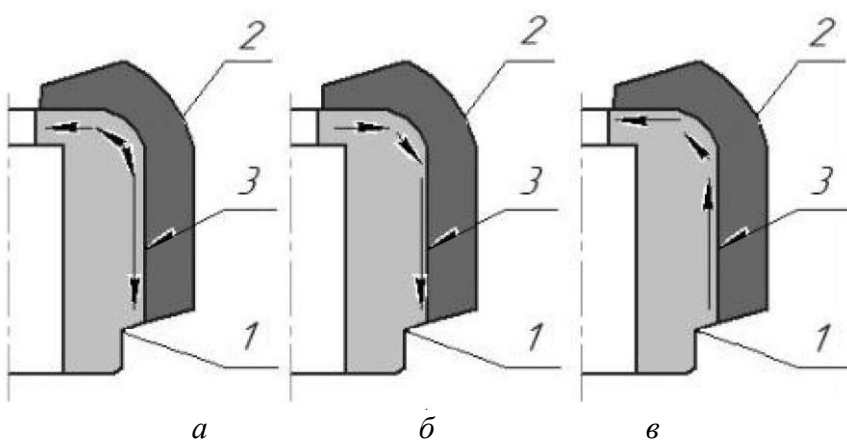


Рис. 5. Схеми формування зварних швів:
1 – корпус долота; 2 – лопать; 3 – зварний шов

Встановлено, що найбільші деформації лопаті спостерігались під час формування другого зварного шва тієї ж самої лопаті за схемою рис. 5, б (зверху-вниз) (рис. 6). Найменші деформації лопаті спостерігались під час формування зварних швів за схемою рис. 5, а.

Слід зазначити, що величини деформацій, отриманих під час виконання зварних швів на реальних долотах, були, в середньому, на 15–20 % більшими за розрахункові, що пояснюється наявністю похибок виготовлення деталей долота.

У результаті проведених комп'ютерних скінчено-елементних і експериментальних досліджень встановлено, що теплові деформації, які виникають під час формування просторових криволінійних зварних швів, є значними, і стосуються, переважно, лопатей, а не корпусу (тобто менш масивних та жорстких деталей) – мають місце вигини, повороти, перекося лопатей. Для забезпечення точності виготовлення доліт використовували метод зворотних деформацій, суть якого полягає у тому, що приварювання наступної лопаті до корпусу здійснюють у напрямку протилежному напрямку деформацій, отриманому після охолодження попередньої лопаті.

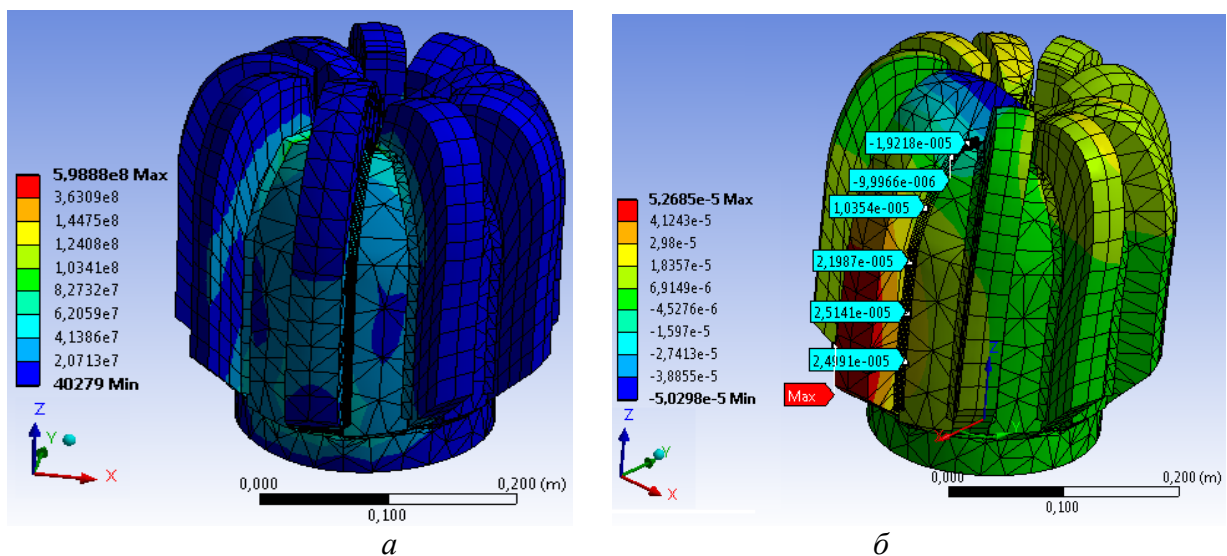


Рис. 6. Напруження (а) та деформації (б) у долоті, формування зварних швів в якому виконано за схемою рис. 5, б

За результатами моделювання напружено-деформованого стану суцільних литих доліт і доліт із приварними лопатями, встановлено, що деформації корпусу за запропонованою схемою зварювання є меншими, ніж для литих доліт. Запропоновано здійснювати вибір методу отримання заготовки долота залежно зовнішнього діаметру долота (d_3) і зовнішнього діаметра корпусу без лопатей (d_k). Корпус долота доцільно виготовляти за величини співвідношення $d_k/d_3 \geq 0,75$ литим, а за співвідношення $d_k/d_3 < 0,75$ – із привареними лопатями.

У п'ятому розділі «Дослідження впливу технологічних параметрів на якість виготовлення та експлуатаційні показники бурових доліт» - залежно від якості і точності виготовлення деталей нарізеного з'єднання: дослідили розподіл навантажень між витками конічного нарізеного з'єднання аналітичним методом; визначили напруження і деформації в конічному нарізеному з'єднанні методом скінчених елементів; експериментально визначили деформації у нарізеному конічному з'єднанні та визначили момент згвинчування під час складання корпусу долота із ніпелем та долота із буровою колоною.

Встановлено, що для конічного нарізеного з'єднання характерний параболічний характер розподілу навантаження (максимальне навантаження припадає на перші і останні витки), а для циліндричної нарізи характерним є гіперболічний розподіл (максимальне навантаження припадає тільки на перші витки). При чому, для конічної нарізи характерною є більша нерівномірність розподілу: збільшення навантаження на останні витки досягається за рахунок зменшення навантаження на середні витки (рис. 7 та рис. 8).

Підвищення навантаження на перший найбільш навантажений виток нарізеного з'єднання може бути причиною зриву нарізи та виходу з ладу бурового інструменту, особливо у випадку значних навантажень під час буріння похило-скерованих свердловин у твердих гірських породах.

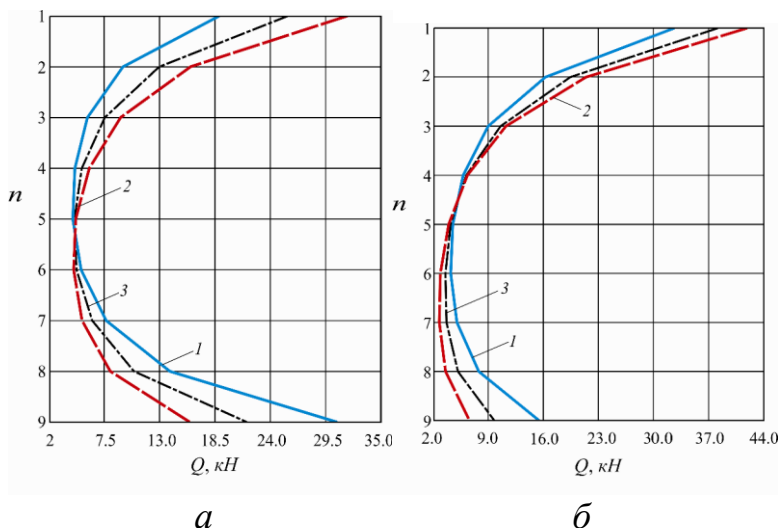


Рис. 7. Розподіл зусиль у витках конічного нарізеного з'єднання «ніпель-муфта» із комбінацій різних матеріалів:
 (а): 1 – сталевий ніпель та сталева муфта; 2 – сталевий ніпель та алюмінієва муфта; 3 – сталевий ніпель та титанова муфта;
 (б): 1 – твердосплавний ніпель та сталева муфта; 2 – твердосплавний ніпель та алюмінієва муфта; 3 – твердосплавний ніпель та титанова муфта

За результатами аналітичного дослідження, яке проводилося на основі одновимірних та з'єднувальних нарізових моделей втулок для елементів з'єднань, встановлено, що сумісна дія похибок виготовлення нарізей на деталях спричиняє збільшення неоднорідності розподілу навантаження: зростає навантаження на перший виток нарізи, не суттєво знижуючись для всіх решти витків.

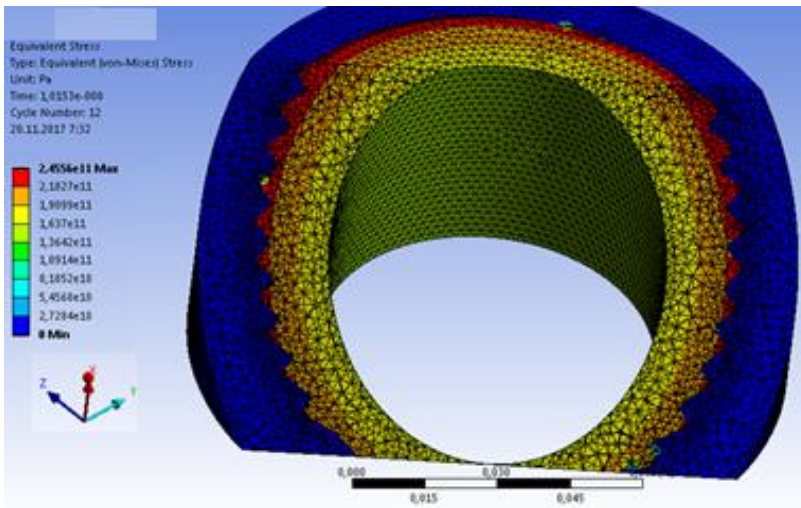


Рис. 8. Моделювання напружень за Мізесом, які виникають у сталевих деталях нарізевому з'єднанні (косий переріз)

Методом скінченних елементів досліджено вплив якості поверхні конічної нарізи на напруження, які виникають в елементах конічного нарізевому з'єднанні, виготовленого із різних матеріалів. Муфта була закріплена по торцьовій та бічній поверхнях, а до торця ніпеля прикладали момент згинчування $M=3$ кНм.

Встановлено, що найменші напруження та деформації спостерігалися для ідеального профілю, а для нарізей із випадковими відхиленнями висоти профілю за довжиною нарізи спостерігалось збільшення деформацій і напружень.

Характер розподілу деформацій між витками нарізи, визначений експериментально, відповідає даним аналітичних та скінчено-елементних розрахунків. Наявність шорсткості викликає збільшення середніх деформацій, проте збільшення кроку нарізи асоціюється із зменшенням середніх деформацій. Також наявність похибок виготовлення викликає зменшення навантаження на другий виток, таким чином підвищується неоднорідність навантаження. Максимальні деформації були, в середньому, в 1,2 рази вищими для нарізи із шорсткістю поверхні $Ra=3,2$ мкм, ніж для нарізи із шорсткістю $Ra=0,63$ мкм. Наявність шорсткості поверхні викликала збільшення деформацій. Відхилення від аналітичних та скінчено-елементних даних становить, в середньому, 10 %.

Аналітичне і скінченно-елементне дослідження моментів згинчування для конічних замкових нарізей, виготовлених із різних матеріалів проводили для випадків згинчування деталей за температури навколишнього середовища та температури 200 °С, яка має місце під час експлуатації бурового інструменту.

Визначено додаткове зусилля, яке необхідне для згинчування шорстких деталей. Побудовані регресійні залежності впливу неспіввісності в конічному нарізевому з'єднанні від прикладеного моменту згинчування для різних матеріалів для гладких і шорстких поверхонь:

- для ідеально гладких поверхонь без похибок виготовлення:
 $y = -0,0088x + 0,7903, R^2 = 0,952;$
- для наявності похибок за кроком: $y = -0,0103x + 0,8994, R^2 = 0,9506;$
- для наявності похибок за кроком: $y = -0,0105x + 0,9361, R^2 = 0,8102;$
- для наявності похибок виготовлення (за кроком та кутом) та шорсткості поверхонь: $y = -0,0091x + 0,9475, R^2 = 0,7802.$

Запропоновано підвищити точність і якість нарізевих з'єднань шляхом шліфування та фрикційного зміцнення.

Побудовано математичну модель впливу глибини різання, швидкості обертання деталі та подачі під час шліфування конічної замкової нарізкової поверхні на показники якості поверхні (шорсткість): для сталі

$$Ra = 10,967 \cdot \frac{S_t^{0,87} \cdot d^{0,093}}{V_d^{0,208}}, \text{ для твердого сплаву ВК8 } Ra = 9,606 \cdot \frac{S_t^{0,8881} \cdot d^{0,086}}{V_d^{0,178}}.$$

Поверхні відгуку залежності шорсткості поверхні нарізі від режимів різання при шліфуванні наведено на рис. 9.

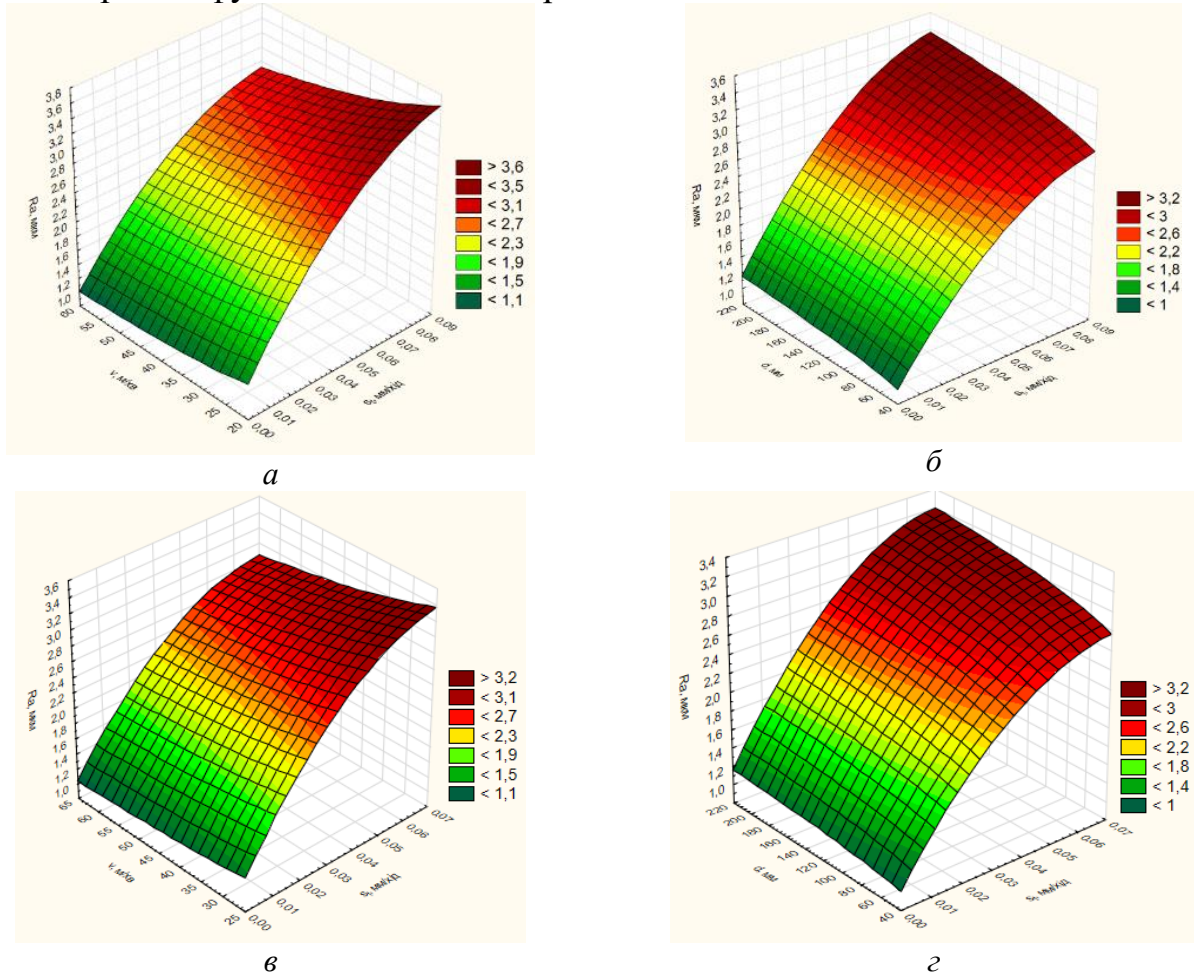


Рис. 9. Поверхні відгуку залежності шорсткості поверхні нарізі від режимів різання під час шліфування сталевих деталей (а, б) та твердого сплаву (в, г)

Встановлено, що найбільш суттєвий вплив на величину шорсткості має швидкість обертання деталі v та повздовжня подача s . Зростання шорсткості при змінній величині швидкості обертання деталі та постійній глибині різання є значно більш вагомим ніж отримана за постійної швидкості та змінній величині глибини різання.

Для фрикційного зміцнення деталей нарізі було модернізовано інструмент, конструкція якого наведена на рис. 10. Тороїдний деформуючий елемент 6 інструменту має радіус заокруглення r , рівний радіусу заокруглення западини нарізі, а бокові деформуючі елементи 7 та 8 мають еліпсоподібну форму

поперечного перерізу, який забезпечує одночасне зміцнення западини і бічних поверхонь профілю нарізі.

Повздовжня подача під час зміцнення відповідала кроку нарізі 4,235 мм. Загальний вигляд зміцнених деталей геологорозвідувального замка 3-50 представлено на рис. 11.

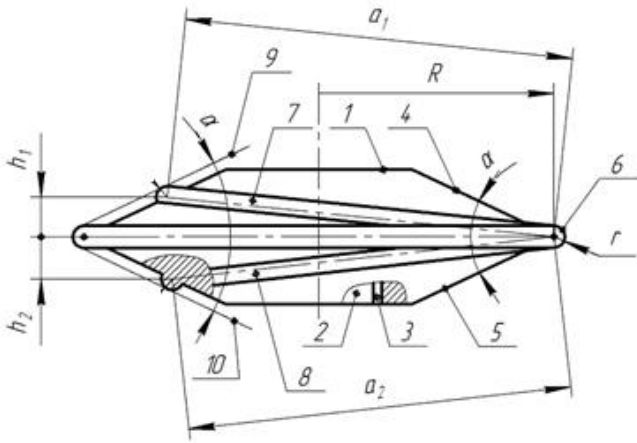


Рис. 10. Модернізований інструмент для фрикційного зміцнення нарізі: 1 – диск, 2 – посадкова поверхня, 3 – повідкова поверхня, 4 і 5 – бічні поверхні диска, 6 – периферійний деформуючий елемент, 7 і 8 – бічні деформуючі елементи, 9 і 10 – сторони профілю конічної нарізі.



Рис. 11. Загальний вигляд зміцненої муфти (а) та ніпеля (б) бурового замка 3-50

Проведено експериментальні дослідження впливу технологічних параметрів процесу виготовлення на показники якості доліт та їх експлуатаційні характеристики.

Встановлено що бурові замки, конічну нарізь муфти та ніпеля яких піддавали фрикційному зміцненню, мали втомну міцність у 1,15–1,20 рази вищу за втомну міцність серійних.

Досліджували вплив похибки виготовлення долота на величину сил різання та вібрації, які виникають в процесі буріння гірської породи. Як гірську породу використовували блоки пісковика, бетону та будівельної суміші (400x400x400 мм). Режими роботи установки: крутний момент під час буріння гірської породи $M=2,4$ кНм, частота обертання шпинделя $n=45$ хв⁻¹, вимірювання проводили після стабілізації процесу буріння.

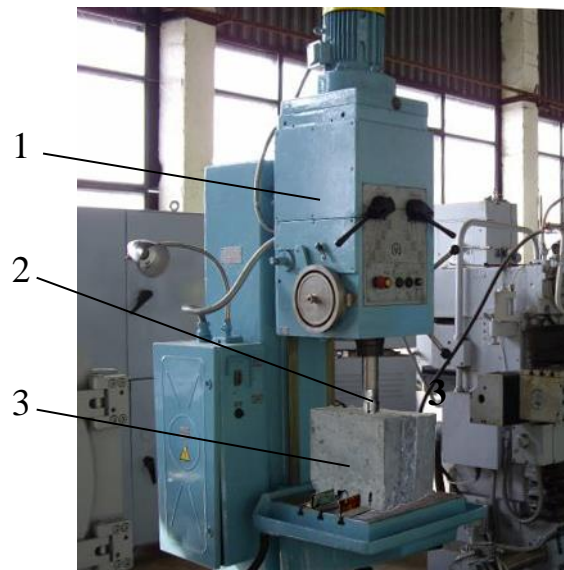


Рис. 12. Загальний вигляд експериментальної установки для випробовування бурових доліт: 1 – вертикально-свердлильний верстат; 2 – бурове долото, 3 – блок гірської породи

За результатами випробовувань побудували регресійні залежності втомної міцності нарізевого з'єднання від кількості циклів навантаження σ , Н/мм²:

- для зміцнених замків: $\sigma_s = (-3,278 \ln(N \cdot 10^6) + 16,169) \cdot 0,01$, $R^2 = 0,9224$;
- для серійних замків: $\sigma_c = (-2,634 \ln(N \cdot 10^6) + 13,732) \cdot 0,01$, $R^2 = 0,9236$.

Встановлено, що биття долота під час буріння гірської породи чинить істотний вплив на зростання сил різання, а також спричиняє виникнення вібрацій. Збільшення неспіввісності доліт знижує керованість долота у свердловині.

Результати, одержані в роботі, впроваджено у виробництво в ТзОВ «Інтербур», економічний ефект від впровадження розробленої технології виготовлення бурових доліт становитиме 881,753 тис. грн., а також у навчальний процес підготовки студентів у ІФНТУНГ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано умови роботи бурових доліт ріжуче-стираючої дії, характер їх руйнування, матеріали для виготовлення заготовок корпусів, конструкції, технологічні процеси механічної обробки конічних замкових нарізей доліт та складання і обґрунтовано перспективність застосування таких доліт у зв'язку із відсутністю у них рухомих підшипникових вузлів.

2. Проведено математичне моделювання процесу взаємодії з гірською породою долота, яке має похибки виготовлення, для визначення силових параметрів взаємодії та рівня напружень в елементах долота. Встановлено, що внаслідок неспіввісності осей ніпеля і корпусу долота в діапазоні від 0,2 мм до 1,0 мм виникає додаткова поперечна притискна сила, яка збільшує навантаження на лопаті у 1,2–1,9 разів. На основі проведених теоретичних досліджень вибрано режими випробування бурових доліт: частота обертання – $n=45 \text{ хв}^{-1}$, крутний момент від 1,5 кНм до 3,0 кНм.

3. Обґрунтовано способи отримання заготовок корпусів доліт, технологічні режими литва та зварювання, а також схеми виконання зварних швів для підвищення точності складання доліт. Встановлено, що у литій заготовці долота виникають максимальні напруження в основі паза між лопатями заготовки, для усунення цих залишкових напружень запропоновано термічну обробку – відпал. Встановлено, що мінімальні деформації лопатей долота ($2,5 \cdot 10^{-5}$ м) виникають під час зварювання лопаті із корпусом за схемою, що передбачає формування зварного шва, починаючи із місця спряження циліндричної та еліпсоїдної поверхонь корпусу долота, і який виконують спочатку по еліпсоїдній поверхні до краю коротшої частини лопаті, а потім – вздовж циліндричної поверхні до краю довшої частини лопаті. Вказані деформації становлять 4 % від загального допуску на діаметр долота. Максимальні деформації лопаті долота ($6,05 \cdot 10^{-5}$ м) виникають під час зварювання лопаті із корпусом за схемою, що передбачає формування зварного шва, починаючи із точки спряження коротшої частини лопаті із еліпсоїдною поверхнею корпусу долота, а потім по циліндричній поверхні до кінця довшої частини лопаті.

4. Досліджено вплив технологічних режимів нарізання та зміцнення конічних нарізей та методів складання на показники якості бурових доліт. Встановлено, що для конічного нарізевого з'єднання характерний параболічний характер розподілу навантаження (максимальне навантаження припадає на перші і останні витки), а для циліндричної нарізі характерним є гіперболічний. При чому, для конічної нарізі є більша нерівномірність розподілу: збільшення навантаження на останні витки досягається за рахунок зменшення навантаження на середні витки. Встановлено, що похибки виготовлення нарізей та шорсткість нарізевої поверхні викликає збільшення неоднорідності розподілу навантаження між витками нарізі. Побудовано математичні моделі, які описують вплив технологічних режимів різання, швидкості обертання деталі та подачі при шліфуванні конічної замкової нарізевої поверхні на показники якості поверхні (шорсткість): для сталі 25Г2С2Н2МА та для твердого сплаву ВК8. Встановлено, що складові режимів різання за впливом на параметр шорсткості чинять такий вплив у порядку зростання: глибина шліфування, швидкість обертання та діаметр деталі. При цьому, шорсткість нарізових поверхонь деталей із твердого сплаву на 3–12 % менша від шорсткості на деталях зі сталі. Удосконалено конструкцію інструмента для фрикційного зміцнення нарізей, тороїдний деформуючий елемент якого має радіус заокруглення, рівний радіусу заокруглення западини нарізі, а бокові деформуючі елементи – мають еліпсоподібну форму поперечного перерізу, що забезпечує одночасне зміцнення западини та бічних поверхонь профілю конічної нарізі. Встановлено, що фрикційне зміцнення забезпечує підвищення втомної міцності нарізових конічних з'єднань у 1,15–1,20 рази порівняно із серійними.

5. Розроблено пристрої для контролю конічних замкових нарізей та геометричних параметрів доліт ріжучо-стираючої дії, а також обладнання для стендових випробувань доліт. Проведено стендові випробування доліт ріжуче-стираючого типу. Результати досліджень впроваджено у виробництво в ТзОВ «Інтербур». Виготовлення дослідних доліт згідно розробленої технології дозволило знизити похибки їх виготовлення та збільшити ресурс роботи в 1,27 рази порівняно із серійними та підвищити проходку, що забезпечує одержання економічного ефекту у сумі 881,753 тис. грн. Крім цього, результати досліджень впроваджено у навчальний процес підготовки студентів, які навчаються за освітньо-кваліфікаційною програмою підготовки бакалаврів та магістрів у ІФНТУНГ за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті (Scopus)

1. Pryhorovska T. O. Probabilistic estimate of PCD drill bit wear rate / T. O. Pryhorovska, S. S. Chaplinskiy // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2014. – Вип. 5. – С. 39 – 45. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею дослідження, поставлено задачі дослідження та узагальнено висновки).*
2. Pryhorovska T. O. Finite element modelling of rock mass cutting by cutters for PDC drill bits / T. O. Pryhorovska, S. S. Chaplinskiy, I. O. Kudriavtsev // Petroleum Exploration and Development. – 2015. – Vol. 42. – Iss. 6. – P. 888 – 892. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею дослідження, поставлено задачі дослідження).*
3. Pryhorovska T. O. Study on rock reaction force depending on PDC cutter placement / T. O. Pryhorovska // Machining Science and Technology. – 2017. – Vol. 27. – Iss. 1. – P. 37–66. *(Виконано одноосібно).*
4. Pryhorovska T. Rock heterogeneity numerical simulation as a factor of drill bit instability / T. Pryhorovska // Engineering Solid Mechanics. – 2018. – Vol. 6. – Iss. 4. – P. 315–330. *(Виконано одноосібно).*
5. Pryhorovska T. Analytical estimation of tooth strength, restored by direct or indirect restorations / O. Bulbuk, A. Velychkovych, V. Mazurenko, L. Ropyak, T. Pryhorovska // Engineering Solid Mechanics. – 2019. – Vol. 7. – Iss. 3. – P. 193–204. *(Здобувачкою запропоновано дослідження напруженого стану шаруватих конструкцій).*
6. Pryhorovska T. O. Numerical study on heat transfer in multilayered structures of main geometric form made of different materials / R. M. Tatsiy, O. Y. Pazen, S. Y. Vovk, L. Y. Ropyak, T. O. Pryhorovska // Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics. – 2019. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 36–55. *(Здобувачкою запропоновано дослідження напруженого стану шаруватих конструкцій).*
7. Pryhorovska T. Analytical model of oil pipeline overground transitions, laid in mountain areas / A. Velychkovych, A. Andrusyak A., T. Pryhorovska, L. Ropyak // Oil & Gas Science and Technology. – 2019. – Vol. 74. – Art. No. 65. – P. 9. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею дослідження).*
8. Pryhorovska T. O. Analysis of Materials and Modern Technologies for PDC Drill Bit Manufacturing / L. Y. Ropyak, T. O. Pryhorovska, K. H. Levchuk // Progress in Physics of Metals. – 2020. – Vol. 21. – Iss. 2. – P. 274–301. *(Здобувачкою здійснено аналіз технологічних процесів та матеріалів для виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії та узагальнено результати досліджень).*

Конференції (Scopus)

9. Pryhorovska T. Machining Error Influence on Stress State of Conical Thread Joint Details / T. Pryhorovska, L. Ropyak // IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL): 06–08 September 2019 : proceedings.– Sozopol (Bulgaria). – 2019. – P. 493–497. *(Здобувачкою виконані*

розрахунки впливу похибок виготовлення на розподіл напружень і деформацій в елементах нарізевого з'єднання).

10. Pryhorovska T.O. Study on grinding mode effect on external conical thread quality / L. Ya. Ropyak, V.S. Vytvytskyi, A.S. Velychkovych, T.O. Pryhorovska, M.V. Shovkoplias // Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies ICAMaT 2020: 29–30 October 2020. – – Bucharest (Romania).– 2020. – P. 12. *(Здобувачкою розроблено математичну модель проведення досліджень, проведено розрахунки)*

Фахові видання

11. Пригоровська Т.О. Дослідження напруженого стану литої заготовки лопатевого долота / Т.О. Пригоровська, Л.Я. Роп'як, І.С. Когут, В.Г. Панчук, Л.О. Борушак, І.О. Шуляр // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2017. – Вип. 2 (2). – С. 135 – 141. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею дослідження, поставлено задачі дослідження, виконані числові дослідження).*

12. Пригоровська Т.О. Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення PDC-доліт для підвищення їх експлуатаційних показників / Т.О. Пригоровська, П.І. Войтенко, В.В. Врюкало, Л.Д. Пітулей, Л.Я. Роп'як, П.М. Присяжнюк, М.Й. Бурда, Д.Л. Луцак, Л.Д. Луцак // Міжвузівський збірник «Наукові Нотатки». – Луцьк. – 2018. – Вип. 63. – № 1. – С. 177 – 182. *(Здобувачкою здійснено розроблення конструкторсько-технологічного забезпечення, обґрунтовано розташування та технологію виготовлення озброєння PDC-доліт для підвищення їх експлуатаційних показників).*

13. Пригоровська Т.О. Дослідження впливу точності виготовлення деталей на розподіл навантаження між витками конічного з'єднання / Т.О. Пригоровська, А.С. Величкович, Л.Я. Роп'як // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – 2019. – Вип. 114 (1). – С. 81–90. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею дослідження, поставлено задачі дослідження, запропоновано математичну модель, виконано розрахунки та узагальнено висновки).*

14. Пригоровська Т.О. Вивчення форми ріжучої частини долота типу PDC з метою оптимізації конструкції: дослідження кута нахилу лопатей / Т.О. Пригоровська, О.В. Пригоровський // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2019.– Вип. 47 (2). – С. 32-41. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею дослідження, зроблено постановку задачі дослідження, виконано комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану долота ріжуче-стираючої дії та узагальнено висновки).*

15. Пригоровська Т.О. Дослідження геометричних особливостей конічних нарізей / І.П. Тарас, Т.О. Пригоровська// Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2020. – Вип. 48 (1). – С.16-22. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею дослідження, поставлено задачі дослідження).*

16. Pryhorovska T. Finite-element simulation of PDC drill bit's operational stress-strain state / T. Pryhorovska, O. Pryhorovskyi // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2020. – Вип. 1. – №– 97. – С. 45—56

(Здобувачкою запропоновано загальну ідею дослідження, зроблено постановку задачі дослідження, виконано комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану долота ріжуче-стираючої дії та узагальнено висновки).

Закордонна монографія

17. Pryhorovska T.O. Simulation of drilling equipment structural elements [Electronic resource] / L.Ya. Ropyak, T.O. Pryhorovska – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. – 93 p. (ISBN-13: 978-620-0-45802-5). Mode of access: <https://www.lap-publishing.com/catalog/details/store/gb/book/978-620-0-45802-5/simulation-of-drilling-equipment-structural-elements>. (viewed on June 01, 2020). – Title from the screen *(Здобувачкою поставлено задачі дослідження та узагальнено результати досліджень).*

Матеріали і тези конференцій

18. Пригоровська Т. О. Оптимізація режимів різання при різьбошліфуванні нарізаної поверхні / Л.Я. Роп'як, Т.О. Пригоровська // Матеріали XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво»: 01 – 03 листопада 2017 р. – Краматорськ: Донбаська машинобудівна академія, 2017. – С. 200–201. *(Здобувачкою поставлено задачі, виконано дослідження режимів різання при нарізешліфуванні нарізаної поверхні).*

19. Пригоровська Т.О. Вплив похибок виготовлення деталей на напружено-деформований стан кінцевого нарізаної з'єднання / Л.Я. Роп'як, Т.О. Пригоровська // Матеріали Міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах»: 30 листопада – 2 грудня 2017 р. – Київ: «Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2017. – С. 325–328. *(Здобувачкою проведено моделювання напружено-деформованого стану кінцевого нарізаної з'єднання).*

20. Пригоровська Т. О. Дослідження впливу похибок виготовлення бурового долота і бурильної труби на роботу долота / Т.О. Пригоровська, Л.Я. Роп'як // Матеріали VII-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні»: 6 – 10 лютого 2018. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2018. – С. 130–132. *(Здобувачкою виконано дослідження впливу похибок виготовлення бурового інструменту на працездатність).*

21. Пригоровська Т. О. Оптимізація режимів різання при різьбошліфуванні нарізаної поверхні / Л.Я. Роп'як, Т.О. Пригоровська // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»: 10 – 12 травня 2018 р. – Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет, 2018. – С.200–201. *(Здобувачкою оптимізовано режими різання).*

Отримано патенти на корисні моделі

22. Пат. на корисну модель № 106084. Україна, МПК (2016.01) G01B 5/14. Пристрій для контролю биття бурового долота / Т.О. Пригоровська, Л.Я. Роп'як, О.В. Рогаль, М.В. Шовкопляс. – № u201804522 ; заявл. 24.04.2018 ;

опубл. 27.08.2018, Бюл. № 16. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею створення корисної моделі).*

23. Пат. на корисну модель № 129444. Україна, МПК (2016.01) E21B 10/00, E21B 12/00, G01B 5/14. Пристрій для контролю параметрів бурового долота / Т.О. Пригоровська, Л.Я. Роп'як, О.В. Рогаль, М.В. Шовкопляс. – № u201805867; заявл. 25.05.2018 ; опубл. 25.10.2018, Бюл. 20. *(Здобувачкою запропоновано введення до складу пристрою засобу для витягування нарізевого калібру).*

24. Пат. на корисну модель № 131571. Україна, МПК (2016.01) E21B 21/06. Пристрій для дослідження фільтрації бурових технологічних рідин через зразки гірських порід / І.І. Чудик, А.Р. Юрич, А.І. Різничук, Т.О. Пригоровська, О.С. Малишевська, Л.Я. Роп'як – № u201806981 . заявл. 21.06.2018 ; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2. *(Здобувачкою запропоновано введення до складу пристрою фільтраційного стакану із зовнішніми нарізями на кінцях та використання пристрою для вибору промивних рідин під час випробовувань PDC-доліт).*

25. Пат. на корисну модель № 140283. Україна, МПК (2016.01) C04B 18/04, C04B 18/06, C04B 18/20. Будівельна сировинна суміш з техногенних відходів / В.Л. Челядин, Л.І. Челядин, М.М. Богославець, Л.Я. Роп'як, Т.О. Пригоровська, А.С. Величкович – № u201908295 ; заявл. 16.07.2019 ; 10.02.2020, Бюл. № 3. *(Здобувачкою запропоновано введення до складу суміші шламу із гальванічних ванн і використання запропонованої суміші для випробовування доліт).*

Отримано авторські права на комп'ютерні програми

26. Програма для дослідження впливу похибок виготовлення деталей на розподіл еквівалентних напружень у нарізевому конічному трубному з'єднанні «PipeThread» / Т.О. Пригоровська, Л.Я. Роп'як, О.В. Рогаль // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 79153; дата реєстрації 18.05.2018, Бюл. № 49-2018. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею створення комп'ютерної програми, розроблено інструкцію користувача).*

27. Програма для дослідження впливу похибок виготовлення деталей різьбового замкового з'єднання на розподіл еквівалентних напружень, які виникають при з'єднанні деталей «ToolJoint» / Т.О. Пригоровська, Л.Я. Роп'як // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 79154; дата реєстрації 18.05.2018, Бюл. № 49-2018. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею створення комп'ютерної програми, розроблено інструкцію користувача).*

28. Комп'ютерна програма. «Моделювання процесу мікродугового оксидування алюмінію та його сплавів» («PEO-Andromeda (Plasma electrolytic oxidation)») / Г.В. Григорчук, А.П. Олійник, Л.І. Григорчук, В.С. Витвицький, Л.Я. Роп'як, Т.О. Пригоровська, А.С. Величкович, О.В. Корнута // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 92700. Дата реєстрації 08.10.2019, Бюл. № 55-2019. *(Здобувачкою запропоновано загальну ідею створення комп'ютерної програми, розроблено інструкцію користувача).*

29. Комп'ютерна програма. «Розрахунок на жорсткість проміжних валів» («ZhVK») / В.В. Кустов, Л.Я. Роп'як, В.С. Витвицький, Т.О. Пригоровська // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 9539. Дата реєстрації 17.01.2020. Бюл. № 57-2020 (Здобувачкою запропоновано загальну ідею створення комп'ютерної програми, розроблено інструкцію користувача).

АНОТАЦІЯ

Пригоровська Т.О. Технологічне забезпечення якості виготовлення бурових доліт ріжуче-стираючої дії. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – Технологія машинобудування. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2021.

Дисертація присвячена розробленню технологічних заходів щодо підвищення якості виготовлення бурових доліт ріжуче-стираючої дії шляхом дослідження та вдосконалення технологічного забезпечення якості виготовлення доліт та використання системного підходу до формування якості.

Проаналізовано умови роботи, технологічні процеси та матеріали для виготовлення заготовок корпусів, ніпелів та ріжучих елементів, механічної обробки конічних замкових нарізей доліт ріжуче-стираючої дії та складання доліт.

Проведено математичне моделювання взаємодії із гірською породою долота, яке має похибки виготовлення, для визначення кінематичних та силових параметрів його роботи, досліджено вплив похибок виготовлення та складання на величину кінематичних та силових параметрів роботи долота для обґрунтування режимів випробовування доліт. Обґрунтовано способи отримання заготовок корпусів доліт, технологічні режими литва та складання доліт, а також схеми виконання зварних швів для підвищення точності доліт.

Досліджено вплив технологічних режимів різання, зміцнення конічних нарізей та методів складання на показники якості бурових доліт. Встановлено емпіричні залежності величин шорсткості від технологічних параметрів різання під час шліфування конічних замкових нарізей на деталях зі сталі та твердого сплаву.

Розроблено технологічне оснащення для контролю конічних замкових нарізей та геометричних параметрів доліт зазначеного типу, а також обладнання для стендових випробовувань доліт. Результати досліджень впроваджено у виробництво та навчальний процес.

Ключові слова: технологічний процес, бурове долото, похибки виготовлення, конічна нарізь, шліфування, зміцнення, напружено-деформований стан.

АННОТАЦИЯ

Пригоровская Т.А. Технологическое обеспечение качества изготовления буровых долот режущее-стирающего действия. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2021.

Диссертация посвящена разработке технологических мероприятий по повышению качества изготовления буровых долот режущее-стирающего действия путем исследования и совершенствования технологического обеспечения качества изготовления долот и использования системного подхода к формированию качества.

Проанализированы условия работы, технологические процессы и материалы для изготовления заготовок корпусов, ниппелей и режущих элементов, механической обработки конических замковых резьб долот режущее-стирающего действия и сборки долот.

Проведено математическое моделирование взаимодействия с горной породой долота, которое имеет погрешности изготовления, для определения кинематических и силовых параметров его работы, исследовано влияние погрешностей изготовления и сборки на величину кинематических и силовых параметров работы долота для обоснования режимов испытания долот. Обоснованы способы получения заготовок корпусов долот, технологические режимы литья и сборки долот, а также схемы выполнения сварных швов для повышения точности долот.

Исследовано влияние технологических режимов резания, укрепления конических резьб и методов сборки на показатели качества буровых долот. Установлены эмпирические зависимости величин шероховатости от технологических параметров резки при шлифовке конических замковых резьбы на деталях из стали и твердого сплава.

Разработаны технологическая оснастка для контроля конических замковых резьбы и геометрических параметров долот указанного типа, а также оборудования для стендовых испытаний долот. Результаты исследований внедрены в производство и учебный процесс.

Ключевые слова: технологический процесс, буровое долото, погрешности изготовления, коническая резьба, шлифовка, укрепления, напряженно-деформированное состояние.

ANNOTATION

Pryhorovska T.O. Technological providing of PDC drill bit quality. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for granting the Degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.02.08 – Mechanical engineering technologies. – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2021.

The thesis is devoted to development of measures to improve PDC drill bit quality by technology study and enhancement of PDC drill bit manufacturing and the use of a systematic approach to quality.

Operation conditions, technology and materials used for bit's body, nipples and cutting elements, machining of conical locking threads, and assembling of PDC drill bits are analyzed.

A mathematical modeling of PDC drill bit–rock interaction to specify kinematic and force options of bit's operation, studying of manufacturing and assembling error effect on kinematic and force options to specify drill bit test modes in order to specify rational technological options are carried out. Methods of blank manufacturing for bit's body, technological modes of casting and welding, as well as welding schemes to increase drill bit accuracy are grounded.

Methods of blank obtaining for PDC drill bits, technological modes of casting and welding, as well as schemes of welding welds to increase the accuracy of drill bits assembly are substantiated.

The influence of technological modes of cutting and hardening of conical threads and technological modes of assembling on PDC drill bit quality are studied. Empirical relations of roughness and technological modes of conical thread grinding of steel and hard alloy are specified. The design of the tool for frictional hardening of threads is improved.

Technological equipment for control of conical threads and PDC drill bit geometrical parameters, as well as equipment for bench tests of drill bits are developed. The results of researches are implemented in manufacture and educational process.

Key words: technological process, drill bit, manufacturing errors, conical thread, grinding, hardening, stress-strain state.

Підписано до друку 07.04.2021 р. Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк різнографічний. Гарнітура Times New Roman. Авт. арк. 0,9. Наклад 100.

Видавець та виготівник «Симфонія форте»

76019, м. Івано-Франківськ, вул. Крайківського, 2, тел. (0342) 77-98-92

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців
та виготівників видавничої продукції: серія ДК № 3312 від 12.11. 2008 р.