

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
МР.ПМКм-140.00.00.000.ПЗ

Група ПМКм-20-1

Ткачук Вадим

Віталійович

2021

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інженерної механіки
Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Ткачук Вадим Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.833.65
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Удосконалення технології виготовлення корпусів доліт ріжуче-стираючої дії
(назва роботи)

Комп'ютеризовані та роботизовані технології машинобудування
(назва освітньої програми)

131 – Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)

В.В. Ткачук
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Роп'як Любомир Ярославович, д-р техн. наук, проф. кафедри КМВ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор _____ Панчук В. Г.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інженерної механіки
Кафедра комп'ютеризованого машинобудування
Освітній рівень магістр
Спеціальність 131 – Прикладна механіка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____

« ____ » _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Ткачуку Вадиму Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технології виготовлення корпусів доліт ріжуче-стираючої дії керівник роботи Роп'як Любомир Ярославович, д-р техн. наук, проф. кафедри КМВ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від "26" березня 2021 року № 224/7
2. Строки подання студентом роботи 23 грудня 2021р.
3. Вихідні дані до роботи: методичні вказівки, кресленик корпусу долота, патенти, наукові та науково-технічні роботи; середовище програм ANSYS.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1 Аналіз зношування доліт та сучасних тенденцій конструювання і технологій виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії. 2 Методики досліджень. 3 Удосконалення технології виготовлення зварних корпусів доліт ріжуче-стираючої дії. Висновки. Список використаних джерел. Додатки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Схеми конструкцій доліт – 1 лист А1. 2. Зношені долота – 1 лист А1. 3. Долото та корпус – 1 лист А1. 4. Технологія виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії – 1 лист А1. 5. 3д-моделі та схеми деформацій – 1 лист А1. 6. Схема виконання досліджень – 1 лист А1. 7. Результати досліджень – 1 лист А1. 8. Результати досліджень температурних напружень – 1 лист А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	<u>Роп'як Любомир Ярославович, д-р техн. наук, проф. кафедри КМВ</u>		
2	<u>Роп'як Любомир Ярославович, д-р техн. наук, проф. кафедри КМВ</u>		
3	<u>Роп'як Любомир Ярославович, д-р техн. наук, проф. кафедри КМВ</u>		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Літературний та патентний пошук	01.04.2021	
2	Загальна характеристика	01.06.2021	
3	Конструкторська частина	05.08.2021	
4	Проектна частина	01.10.2021	
5	Дослідницька частина	24.11.2021	
6	Захист магістерської роботи	28.12.2021	

Студент _____ Ткачук В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Роп'як Л.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

“ ___ ” _____ 2021_р.

Реферат

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: Удосконалення технології виготовлення корпусів доліт ріжуче-стираючої дії. Дана робота складається із 55 аркушів. До неї входять 36 рисунків, 1 додаток. Було застосовано 44 бібліографічних найменувань.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси виготовлення корпусів бурових доліт ріжуче-стираючої дії та чинники формування їхніх експлуатаційних показників.

Предмет дослідження – взаємозв'язок фізико-механічних, конструктивних і технологічних факторів, що забезпечують якість і точність виготовлення корпусів бурових доліт ріжуче-стираючої дії та способів їх підвищення.

Мета роботи – розробка технологічного забезпечення для підвищення тривалості експлуатації корпусів доліт ріжуче-стираючої дії.

Основним завданням роботи є проведення аналітичних досліджень впливу технологічних чинників на якість і точність доліт ріжуче-стираючої дії та запропонувати шляхи удосконалення технологічних процесів виготовлення.

Відповідно до завдання у роботі проведено аналіз зношування доліт та сучасних тенденцій конструювання і технологій виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії. Розглянуто методику дослідження розподілу температур у корпусі долота та сучасні програмні комплекси для проведення комп'ютерного моделювання методом скінченних елементів. Удосконалено технологію виготовлення зварних корпусів доліт та проведено аналітичний розрахунок викривлення лопатей під час їх приварювання до корпусу. Змодельовано розподіл напружень і деформацій під час виконання криволінійних зварних швів методом скінченних елементів та визначено величини деформацій елементів корпусу для різних величин товщин зварного шва.

Ключові слова: долота ріжуче-стираючої дії, розподіл температур, метод скінченних елементів, розподіл напружень і деформацій, виконання криволінійних зварних швів.

Студент Ткачук В.В.

Summary

Master's thesis on the topic: Improving the technology of manufacturing the bodies of the chisels of cutting and abrasive action. This work consists of 55 sheets. It includes 36 drawings, 1 appendix. 44 bibliographic titles were used.

The object of research - the technological processes of manufacturing the bodies of drill bits of cutting and abrasive action and the factors of formation of their performance.

The subject of research - the relationship of physical and mechanical, structural and technological factors that ensure the quality and accuracy of the manufacture of drill bits of cutting and abrasive action and ways to improve them.

The purpose of the work is to develop technological support to increase the service life of the chisels of cutting and abrasive action.

The main task of the work is to conduct analytical studies of the impact of technological factors on the quality and accuracy of the chips of cutting and abrasive action and to suggest ways to improve technological processes of manufacture.

According to the task in the work the analysis of wear of chisels and modern tendencies of designing and technologies of manufacturing of chisels of cutting and erasing action is carried out. The method of research of temperature distribution in the bit body and modern software complexes for computer modeling by finite element method are considered. The technology of manufacturing welded chisel housings has been improved and the analytical calculation of blade curvature during their welding to the hull has been carried out. The distribution of stresses and strains during the performance of curved welds by the finite element method is modeled and the values of deformations of the body elements for different values of weld thicknesses are determined.

Keywords: cutting-abrasive bits, temperature distribution, finite element method, stress and strain distribution, curved welds.

Student Tkachuk V.V.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗНОШУВАННЯ ДОЛІТ ТА СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ КОНСТРУЮВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ДОЛІТ РІЖУЧЕ- СТИРАЮЧОЇ ДІЇ	6
1.1 Аналіз причин зношування доліт ріжуче-стираючої дії.	6
1.2 Сучасні конструкції доліт ріжуче-стираючої дії	10
Висновки до розділу 1 та постановка задачі досліджень	15
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ	16
2.1 Конструкційні матеріали для виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії	16
2.2 Опис технологічного процесу виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії із сталевим корпусом	16
2.3 Методика дослідження розподілу температур у корпусі долота	18
2.4 Сучасні програмні комплекси для проведення комп'ютерного моделювання методом скінченних елементів	24
Висновки до розділу 2	26
РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОРПУСІВ ДОЛІТ РІЖУЧЕ-СТИРАЮЧОЇ ДІЇ	28
3.1 Розробка технологія виготовлення корпусів доліт ріжуче-стираючої дії шляхом зварювання	28
3.2 Аналітичний розрахунок викривлення лопатей під час їх приварювання до корпуса	35
3.3 Моделювання розподілу напружень і деформацій під час виконання криволінійних зварних швів методом скінченних елементів	37
3.4 Визначення величини деформацій елементів корпусу для різних величин товщин зварного шва	42

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ткачук В.В.			<i>Пояснювальна записка</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Роп'як Л.Я.				2	55	
Реценз.						ІФНТУНГ ПМКм-20-1		
Н. Контр.		Роп'як Л.Я.						
Затверд.		Панчук В.Г.						

Висновки до розділу 3	45
ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47
ДОДАТКИ	53

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						3
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Породоруйнівний інструмент є головною ланкою бурового обладнання, оскільки здійснює тьбепосередньо реалізує процес руйнування гірської породи [1, 2, 3]. Практика показала, що ефективність бурових робіт в першу чергу залежить від якості бурового інструменту та його технічних характеристик. Це підтверджується всім світовим досвідом долотобудування, де зусилля по вдосконаленню конструкцій інструменту ніколи не припиняються.

Тому проблеми оптимізації конструювання, виготовлення та експлуатації породоруйнівного інструменту увійшли в національну програму забезпечення України паливно-енергетичними ресурсами “Енергетична стратегія України до 2030 року” [2], згідно з якою планується вже до 2025 р. збільшити обсяги пошуково-розвідувального буріння до 185 тис. м на рік, що майже у 6 разів перевищує фактичний обсяг пошуково-розвідувального буріння на нафту у 2015 р. Україна володіє значними доведеними запасами та потенційними ресурсами нафти і природного газу. За даними НАК “Нафтогаз України” потенційні ресурси природного газу складають 5,4 трлн. куб. м, газового конденсату – понад 400 млн. тонн, нафти – 850 млн. тонн. За даними «Брітіш Петроліум–Амоко», розвідані запаси газу в Україні становлять близько 1 % від світових, тоді як територія — 0,3 % від суходолу планети. Таким чином, потенціал України за ресурсами газу майже втричі перевищує середньосвітовий, займаючи почесне третє місце в Європі після Нідерландів і Норвегії.

Проблеми видобутку нафти в Україні пов’язані також з тим, що понад 70 % запасів нафти за критеріями рівня виснаження запасів, обводнення продукції, в’язкості, колекторських характеристик порід належать до категорії важковидобувних. Їх віднесено до низькопроникних колекторів, поклади багатопластові, з високою літологічною неоднорідністю як за площею, так і за товщиною продуктивних розрізів. Дві третини таких запасів зосереджено в покладах, що залягають на глибинах понад 2500 м. [3].

Практика показує, що на глибині більше 5 000 метрів експлуатаційні якості шарошкових доліт всіх типів різко знижуються. Відповідно набуває актуальності

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

використання доліт ріжуче-стираючої дії, які себе добре зарекомендували у практиці пороведення бурових робіт. PDC долото – породоруйнівний інструмент, робочим органом якого є різальні елементи з полікристалічними композитними вставками. Долота PDC, на відміну від шарошкових, не мають рухомих підшипникових елементів, що істотно зменшує ризик втрати їх частин у свердловині, а також вони використовують зовсім інший спосіб руйнування гірської породи – зрізання. Руйнування гірської породи шляхом її зрізання набагато ефективніше за дроблення, у зв'язку з чим забезпечується суттєве збільшення як механічної швидкості буріння, так і проходки на долото, а також час виконання спуско-підймальних операцій. Ще одна істотна перевага PDC доліт перед шарошковими – це їхня зносостійкість. У разі деформації таке долото можна ремонтувати і використовувати повторно [3, 4, 5, 6].

Метою роботи - розроблення технологічного забезпечення для підвищення точності виготовлення корпусів доліт ріжуче-стираючої дії.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

1. Проаналізувати умови роботи долота ріжуче-стираючої дії та технологічні процеси виготовлення корпусів цих доліт ріжуче-стираючої дії
2. Провести аналітичні дослідження впливу технологічних чинників на якість і точність доліт ріжуче-стираючої дії та запропонувати шляхи удосконалення технологічних процесів виготовлення.
3. Здійснити перевірку запропонованих заходів щодо удосконалення технологічних процесів виготовлення корпусів.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси виготовлення корпусів бурових доліт ріжуче-стираючої дії та чинники, що формуються їхніх експлуатаційні показники.

Предмет дослідження – взаємозв'язок фізико-механічних, конструктивних і технологічних факторів, що забезпечують точність виготовлення корпусів бурових доліт ріжуче-стираючої дії та способи їх підвищення.

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЗНОШУВАННЯ ДОЛІТ ТА СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ КОНСТРУЮВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ДОЛІТ РІЖУЧЕ- СТИРАЮЧОЇ ДІЇ

1.1 Аналіз причин зношування доліт ріжуче-стираючої дії.

Бурові долота становлять лише частку (від 1 % до 5 %) від загальної вартості свердловини, але є основним компонентом економіки будівництва свердловини. Час, необхідний буріння нафтових і газових свердловин, безпосередньо залежить від швидкості буріння, що забезпечується долотом, тривалістю його роботи до зносу, КНБК та способом буріння. На основі відносної вартості проходки одного метра інвестування в правильно підібране долото значно знизить час буріння кількість спуско-підйомних операцій.

В даний час у світовій та вітчизняній практиці будівництва та реконструкції нафтових і газових свердловин існує два типи породоруйнівних інструментів, які відрізняються за принципом дії. До першого типу відносяться шарошечні долота та долота ріжуче-стираючої дії PDC, принцип роботи яких заснований на зрізанні шару гірської породи [1]. Високим вимогам відповідають бурові долота та бурильні головки ріжучого типу, оснащені алмазно-твердосплавними пластинами (АТП), що виготовляються в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. Н. Бакуля НАН України (ІСМ). Результати випробування таких доліт представлено у [1-3]. Так, Відпрацювання доліт ІСМ АП 292,9 МС проводили на двох свердловинах: Кобзовська №14 та Східна Полтава № 65. Інтервали буріння становили 2751 – 4769 м. Обидві свердловини представлені переважно породами середньої твердості. Найкращі результати отримали під час проходження свердловини Кобзовська № 14, де долотом № 35505 за три рейси в інтервалі глибин 3394 – 4261м пробурено 683 м із середньою механічною швидкістю 0,58 м/год. Робоча поверхня після відпрацювання характеризується рівномірним зношуванням. В середньому проходка на долото даного типорозміру склала 266,25 м, перевищивши проходку на серійне шарошечне долото виробництва ВО «Волгабурмаш» 295,3 МСЦДАУ у 6,9 раза; середня механічна швидкість 0,51 м/год, або 46 % вище. Застосовувані долота перевершили також по проходці

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

середні показники долот 11 5/8" МХ-09 фірми «Хьюз Крістенсен» (США) на 35,5%, поступившись їм у швидкості на 62,7%.

Долотами ІСМ АП 214,3 З виробляли буріння на більшій частині площ УБР. Інтервали буріння становили 2092 – 3801 м. Найвищий показник з проходки було отримано для долота (№ 34763) – 2235 м за п'ять рейсів із середньою механічною швидкістю 1,19 м/год. Найвищу механічну швидкість у вказаному розмірному ряду на свердловині № 43 Кобзовського родовища показало долото (№ 35045) – 1,75 м/год., сумарне проходження за два рейси становила 953 м.

Середня проходка на долота ІСМ АП 214,3 З склала 400,56 м, що перевищує відповідний показник шарошечного долота в 3,18 рази, і поступається показникам долота РДС зарубіжного виробництва у 4,6 рази; при цьому механічна швидкість склала 0,97 м/год, або на 24% виявилася нижче шарошечних та на 44% долота РДС.

Відпрацювання двох долот ІСМ АП 165,1С проводили на свердловині № 100 Кобзовського родовища. Прохідні пласти порід були жорсткими і дуже жорсткими. Інтервал глибин становив 3576 – 3787 м, середня проходка на долото – 78 м, механічна швидкість – 0,50 м/год.

Буріння долотами ІСМ АП 138,1 С робили на свердловинах № 62, 64, 67 Кобзовського родовища. Інтервали глибин – 3300 – 3720 м. Розбурювалися пласти середньої твердисті. Проходка на долото склала 206 м, що перевищує аналогічний показник шарошечного долота 139,7 СДАУ в 2,66 рази за більш низької механічної швидкості буріння (0,66 м/год проти 0,73 м/год).

На свердловинах Чутовського, Юлієвського та Нарижнянського родовища широко проводиться вивчення надр пов'язане з відбором керна, діаметром 80, 67 та 52 мм.

Запропоновані для відпрацювання бурильні головки ІСМ АП 214,3/80 С працювали в інтервалі глибин 2317 – 5186 м, представлені породами, що складаються з аргілітів, алевролітів, вапняків та пісковиків. Високі показники отримані по бурголівці (№ 35429), якої до повного зношування було зроблено 9 рейсів; при цьому сумарна проходка склала 62 м, середня механічна швидкість –

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

0,26 м/год. Сумарною проходкою на свердловині №32 Нарижнянського родовища, що розглядається, бурголовка змогла замінити 8 шарошечних бурголовок К 212.7/80 ТКЗ.

Конструкція бурильної головки ІСМ характеризується високим відсотком виносу придатного керна матеріалу (до 90%). Середнє значення проходки на бурголовку склала 23,5 м, механічна швидкість – 0,34 м/год. Проходка порівняно з шарошечними бурголовками вище вчетверо, зростання механічної швидкості 3%. Відбір керну бурголовками ІСМ АП 163,5/67 С проводили на двох свердловинах - № 90 в інтервалі 5279 – 5746 м за твердими породами та № 93 Чутово в інтервалі 3707 – 3785 м за породами середньої твердості із пластами твердих. У середньому бурголовкою проходили до п'яти рейсів, проходка становила 26,7 м, механічна швидкість – 0,42 м/год. Результати для порівняння з бурголовок від інших виробників відсутні. Відпрацювання бурголовки ІСМ АП 138,1/52 С проводили на Чутовській свердловині № 91 та на Кобзовських свердловинах № 36 та 71. Інтервали буріння становили 3275 – 3848 м. Розбурювались породи тверді середньоабразивні. Середня проходка на бурголовку склала 22,7 м, механічна швидкість – 0,45 м/год. [74].

Основними характеристиками спрацювання РДС доліт (як власуого, так і іноземного виробництва) на родовищах України є: зношення зубців - 17%, поломка зубців – 30%, 31% - сколювання зубців, 3% - випадіння зубців, 19% - відсутність спрацювання (рисунок 1.1). [9] Основними причинами підймання доліт були 19% - зміна КНБК, 3% - проблеми в стволі свердловини, 3% - падіння швидкості проходки, 3% - ремонт бурової установки, 72% - досягнення проектної глибини.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

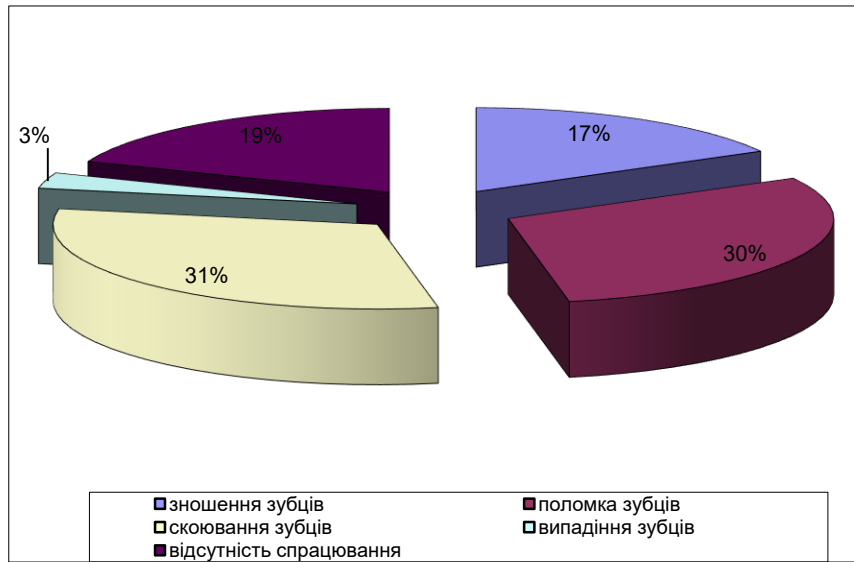


Рисунок 1.1 – Основні характеристики спрацювання доліт

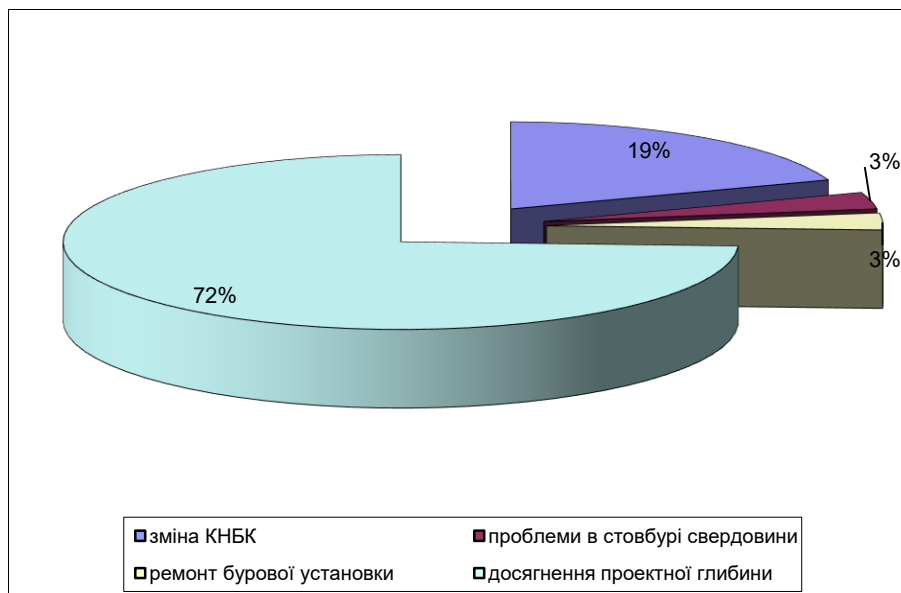


Рисунок 1.2 – Основні причини підймання доліт із свердловини

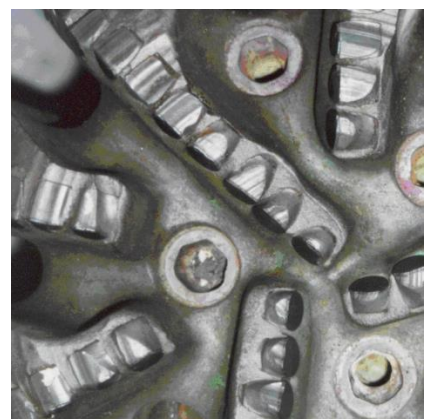


Рисунок 1.3 – Фото зношених доліт [9]

1.2 Сучасні конструкції доліт ріжуче-стираючої дії

Алмазний буровий інструмент поділяється на такі групи:

- алмазні долота стируюче-ріжучого типу з природними та синтетичними (штучними) алмазами;
- долота типу ICM стируючого-ріжучого і ріжучо-сколюючого дії;
- долота з алмазно-твердосплавними пластинами та різцями. «алмазні долота РДС», що означає «алмазні долота з полікристалічними алмазними ріжучими елементами». [10]

Для створення ріжучої дії необхідне осьове навантаження на долото, що значно менше, ніж для шарошкових доліт при тій самій або більшій швидкості буріння. Висока стала механічна швидкість буріння обумовлена гострою ріжучою кромкою різців, низькою швидкістю їх зношування та ефектом самозагострення різців під час буріння. Самозагострення різців відбувається в результаті випереджаючого зношування твердосплавної основи порівняно із зношуванням алмазного шару. Висока зносостійкість озброєння забезпечує велику проходку на долото, а відсутність у конструкції рухомих деталей знижує ризики, пов'язані із залишенням частин долота на вибої свердловини під час буріння.

Долота PDC (Polycrystalline Diamond Cutter) відносяться до безпорних доліт ріжучо-стираючої дії з озброєнням з алмазно-твердосплавних пластин та різців [10] (див. рис. 1.3).

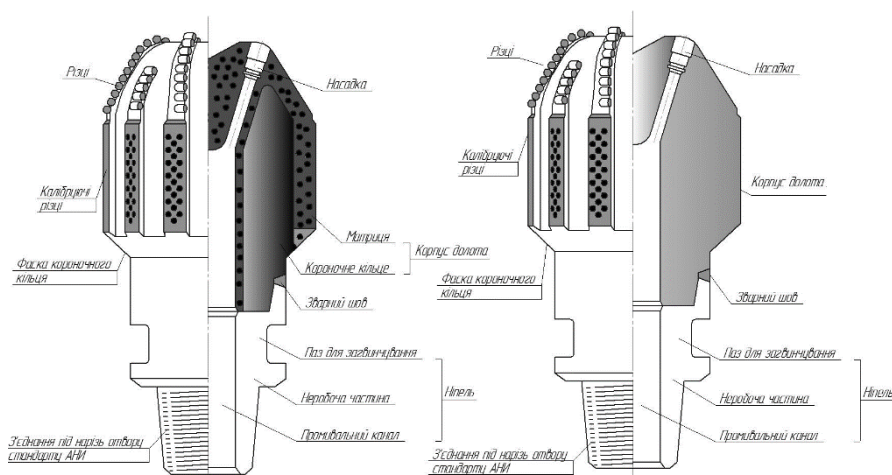


Рисунок 1.3 – Схеми конструкцій доліт із корпусом із твердого сплаву та сталі
(Джерело: матеріали фірми Huges Christensen)

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Долота, в основному, являють собою сталевий корпус із впаяними ріжучими елементами. Для підвищення абразивної стійкості корпусу його покривають зносостійким покриттям різними методами.

Основні операції виготовлення корпусів доліт ріжуче-стираючої дії наведені на рисунках (Рис. 1.4 - Рис. 1.9).

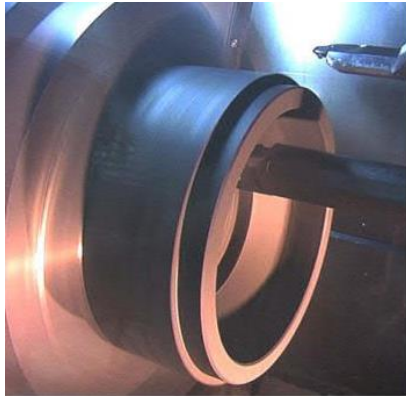


Рисунок 1.4 - Створення графітової форми-шаблону



Рисунок 1.5 - Фрезерування отворів під різці

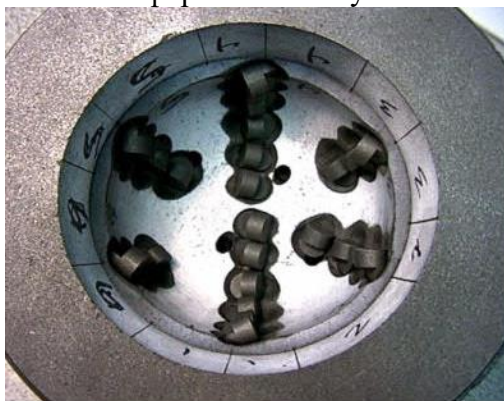


Рисунок 1.6 - Формування шаблону із графітовими вставками під різці

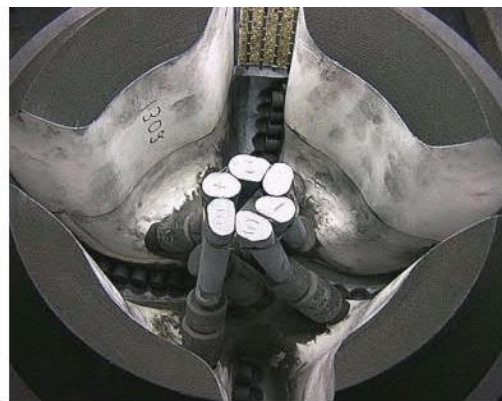


Рисунок 1.7 - Формування шаблону із вставками під отворів



Рисунок 1.8 - Встановлення коронкового кільця в графітовій формі для спікання



Рисунок 1.9 - Спечена заготовка долота

(Джерело: матеріали фірми Hudges Christensen)

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Бурові долота, армовані пластинами PDC, випускаються трьох, чотирьох, п'яти, шести, семи, восьми, дев'яти та дванадцятилопатеві. Також випускаються біцентричні бурові долота, армовані пластинами PDC, призначені для буріння з одночасним розширенням стовбура вертикальних та похило-спрямованих свердловин.

Долото складається з порожнього сталевого корпусу 1, алмазовмісної робочої головки (матриці), різців, приєднувальної нарізи у вигляді ніпеля. Корпуси в основному виготовляються зі сталі марки 40Х. На корпусі є виїмка під ключ для згвинчування та нагвинчування долота. Матриця виготовляється із твердого сплаву методом порошкової металургії – «спіканням». Система промивання долота включає широкі пази - прорізи і глибокі напірні канали, в які потрапляє буровий розчин з центрального отвору долота.

Металевий корпус і матриця можуть перевищувати один одного в деяких моментах. Від першого, наприклад, залежить спосіб кріплення ріжучих елементів. У матричному інструменті вони впаюються в систему із застосуванням простого припою. Для установки ріжучих елементів сталь інструмент нагрівають до температури 440°C. Після того як конструкція остигає, різець міцно сідає на своє місце. Виготовляються різці відповідно до ГОСТу. Розшифровка маркування здійснюється за кодом IADC.[11]



Рисунок 1.10 – Конструкції доліт типу PDC

(<https://vseoburenii.com/dolota-pdc/>) [9]

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



Рисунок 1.11 – Сучасні різці з АТП [Джерело: матеріали сайту виробника пластин Supreme Superhard Materials Co.Ltd] [9]

Особливий різновид доліт розроблений Інститутом надтвердих матеріалів (ІСМ) – долота типу ІСМ. Долота ІСМ призначені для руйнування різанням та стиранням (мікрорізанням) неабразивних порід м'яких (М), що перемежуються за твердістю (МС) та середньою твердістю (С). Ці долота мають озброєння із надтвердого композиційного матеріалу «Славутич. Існує два різновиди доліт ІСМ по конструкції: лопатева та секторна. При бурінні в м'яких породах штирі працюють як різці, здійснюючи різання та сколювання. У переміжних по твердості та породах середньої твердості працюють зерна алмазів, руйнуючи породу мікрорізанням. Приєднують долото до бурильної колони за допомогою замкової нарізі. Перевагами долот ІСМ є їх значне проходження на долото, що досягає (при дотриманні умов експлуатації) кількох сотень метрів і відносно висока рейсова швидкість. До недоліків слід віднести вузьку область застосування (тільки в неабразивних породах М, МС і С) і високий момент на обертання долота, що обмежує застосування забійних двигунів. [11]

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.12– Долота типу ИСМ

Трилопатеві долота оснащені однією повною та двома укороченими по радіусу лопатями. Шестилопатеві долота оснащені трьома такими ж лопатями, як і трилопатеві долота, і додатково трьома лопатями, що калібрують, не контактують з вибоєм. Для підвищення запасу озброєння на периферії лопат твердосплавні штирі (зубки) встановлені в два ряди, а далі до центру долота в один ряд. Така конструкція долота дозволила забезпечити високий тиск озброєння на вибій при порівняно рівномірному розподілі зносу по радіусу, високу здатність, що калібрує, і практично круглий переріз свердловини. Долота виконуються як із звичайною, так і з гідромоніторною системами промивання. Для зменшення опору гірських порід руйнуванню в міру віддалення від центру свердловини до периферії був розроблений і випробуваний ряд конструкцій ступінчастих доліт, в яких використовувався ефект зниження опору руйнування при розширенні свердловини, утвореної щаблем, що йде попереду.

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Висновки до розділу 1 та постановка задачі досліджень

Робота присвячена питанням забезпечення якості бурового породоруйнівного інструменту, що забезпечує узгоджене уявлення про якість бурового породоруйнівного інструменту між споживачем та виробником. В основі розробки лежить формування узагальненої моделі якості продукції, її складових елементів: визначено принципи наповнення узагальненої моделі якості продукції, критерії вибору представлення показників якості продукції, що наповнюють узагальнену модель якості продукції.

Метою роботи є розроблення технологічного забезпечення для підвищення тривалості експлуатації корпусів доліт ріжуче-стираючої дії.

В межах цієї роботи зосереджено увагу саме на корпусах, оскільки технологія виготовлення корпусу долота визначає величину зовнішнього діаметру долота, що є основною характеристикою придатності даного інструменту до експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Проаналізувати умови роботи долота ріжуче-стираючої дії, технологічні процеси їхнього виготовлення та інші чинники, що визначають зносотійкість доліт ріжуче-стираючої дії.

3. Провести аналітичні дослідження впливу технологічних факторів на якість і точність корпусів доліт ріжуче-стираючої дії та запропонувати шляхи удосконалення технологічних процесів виготовлення.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Конструкційні матеріали для виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії

Для виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії використовуються різні матеріали для різних елементів конструкції [12-19]:

- для корпусів – сталь 14ХНЗМА-В і 14ХНЗМА-Ш за ТУ 14-1-5425-2001 для сталевих корпусів або твердий сплав у виді порошків вольфрамо-кобальтової групи, наприклад ВК10КС, ВК11-ВК за ГОСТ 3882-74, для матричних доліт;

Характеристики даних матеріалів представлено у таблицях нижче.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталей 14ХНЗМА-В і 14ХНЗМА-Ш за ТУ-14-1-4612-89

Сталь	C	S	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	S	P
14ХНЗМ А-В	0,12-0,16	0,20-0,35	0,60-0,80	Не більше	3,1-3,4	1,35-1,55	0,10-0,15	Не більше	Не більше
14ХНЗМ А-Ш	0,13-0,17	0,20-0,30	0,40-0,60	0,25	3,35-3,55	Не більше 0,20	0,20-0,30	0,015	0,020

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталей 14ХНЗМА-В і 14ХНЗМА-Ш

Сталь	Границя текучості, ST, МПа	Границя міцності, σВ, МПа	Відносне видовження на розрив, d5, %	Відносне звуження, у, %	Ударна в'язкість, кДж/м2	Твердість за Брінелем, МПа
14ХНЗМА-В	≥835	≥930	≥10	≥55	≥1080	≤269
14ХНЗМА-Ш	≥830	≥931	≥10	≥55	≥1080	≤270

2.2 Опис технологічного процесу виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії із сталевим корпусом

Технологія виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії різниться в залежності від того, у який спосіб виготовлені корпуси долота: матричні долота виготовлені спіканням твердого сплаву, а сталеві – шляхом лиття або шляхом механічної обробки із суцільної заготовки (рисунок 2.1). [11]



Рисунок 2.1 – Технологія виготовлення доліт ріжуче-стираючої дії

1. Фрезерування корпусу долота на п'ятикоординатному верстаті з ЧПУ.
2. Припаювання АТП.
3. Припаювання різців із пластинами до корпусу. Операція здійснюється вручну.
4. Зварювання корпусу і ніпелю.
5. Покриття корпусу або нітроцементация.
6. Маркування.

Кожен етап супроводжується ретельним контролем якості.

Приварювання лопатей доліт до корпусу доліт

З'єднання лопатей з корпусом проводили шляхом напівавтоматичного зварюванням плавлення під захистом у суміші захисних газів (82% Ar + 18% CO₂) обмідненим дротом марки Св-08Г2С діаметром 1,2 мм на апараті «Фроніус» при зварювальному струмі апараті «Фроніус» при зварювальному струмі $I = 180 \dots 200$ А, напрузі $U = 18 \dots 20$ В. Посилення катетів зварних швів не здійснювали. Особлива увага надавалася зварюванню верхній частині долота, де зварювальна дуга близько підходила до АТП. [22, 26]

Для зварювання сталевих лопатей і сталевих корпусів використовувалися електроди ЦУ-2-ХМ. При цьому здійснювалося попереднє нагрівання деталей та супутнє нагрівання під час зварювання до температури у 200⁰С. Зварювання здійснювалося максимально короткою дугою за умови зачищених кромки.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Електроди прожарювалися до температури 300-350 °С протягом години, оскільки вони мають фтористо-кальцієве покриття. [22]

2.3 Методика дослідження розподілу температур у корпусі долота

Контакт взаємодіючих тіл або частин одного тіла з різною температурою, спонукає рухомі частинки тіла обмінюватися кінетичною енергією зі збільшенням інтенсивності руху частинок з меншою температурою і зменшенням інтенсивності руху частинок з великою температурою. Подібний енергетичний обмін називається теплообміном або теплопередачею. В результаті відбувається нагрівання одного тіла та остигання іншого. Кількість теплоти називається кількістю енергії, яка була передана частинкам менш нагрітого тіла від частинок більш холодного тіла. Процес, що протікає в одному тілі, характеризується переходом тепла точок з нижчою температурою. Теплообмін між різними тілами зберігає принцип переходу теплоти до менш нагрітих тіл. Отже, кінцевим результатом теплообміну між частинами одного тіла або обмеженими тілами є нівелювання їх температур з подальшим закінченням процесу [8]. рівні. Теплообмін поширюється на безліч всіх явищ, в яких частина тепла передається з однієї частини простору в іншу незалежно від агрегатного стану речовини. У своїй фізико-механічній природі ці процеси дуже різноманітні, в основному, вони розвиваються як цілий комплекс гетерогенних явищ і мають велику складність. Через більшу зручність зазвичай поділяють передачу тепла на найпростіші типи: конвекція, теплопровідність, теплообмін радіацією або випромінюванням. Теплопровідність (провідність) характеризується тим, що її дія пов'язана з наявністю реального середовища і що теплообмін може відбуватися тільки між такими частинками тіла (молекулами і атомами), які знаходяться в безпосередній близькості один від одного. Це явище можна як перехід тепла від однієї нерухомої частинки до іншої. У чистому вигляді процес теплопровідності спостерігається у твердих тілах. У металах перенесення тепла обумовлено рухом вільних електронів. У рідинах і твердих тілах-діелектриках теплопровідність реалізується пружними, акустичними хвилями, утвореними скоординованими зсувами всіх

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

молекул і всіх атомів з їх положень рівноваги. Взаємодія хвиль призводить до обміну енергією між частинками і шарами тіла. Конвекція спостерігається, коли становище у просторі й те водночас переносять тепло, що у них. Це явище має місце у рідинах і газах і завжди супроводжується теплопровідністю, тобто переносом тепла від однієї частинки до сусідньої, якщо тільки вся поточна маса не має повної рівності температур. Теплообмін випромінюванням характеризується відсутністю контакту між тілами, що обмінюються теплом. Явище теплового випромінювання відбувається на поверхні або всередині тіла внаслідок складних молекулярних та атомних збурень. У той же час деяка частина внутрішньої енергії тіла трансформується в електромагнітні хвилі (або в іншому поданні у фотони-кванти енергії) і вже в цьому виді передається через простір. проходження тепла. Найчастіше один тип теплообміну супроводжує інший, та його дуже складно відокремити. Це може створити враження про наявність єдиного процесу теплообміну.

Вивчення будь-якого фізичного процесу методами математики зводиться до встановлення аналітичних залежностей між величинами, що характеризують це явище. Для складних фізичних процесів, в яких визначаються величини змінюються у просторі та часі, встановити залежність між цими величинами іноді неможливо. У цих випадках на допомогу приходять методи математичної фізики, яка розглядає протікання процесу не в усьому досліджуваному просторі, а в деякому обсязі речовини і в перебіг елементарного проміжку часу [3-4]. інтервалу стає можливим знехтувати зміною певних величин, що характеризують процес. Це дозволяє, виходячи з найзагальніших принципів природи, отримати диференціальне рівняння аналізованого процесу, що є найбільш загальною залежністю між величинами, суттєвими для досліджуваних процесів, і характеризує властивості, властиві всім фізичним явищам, які засновані на одних і тих же закономірностях. Інтегруючи далі диференціальне рівняння, можна отримати аналітичне співвідношення між величинами для всього простору і всього розглянутого тимчасового інтервалу. математична теорія теплопровідності.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Основою для виведення диференціального рівняння теплопровідності є закон збереження енергії, який поєднується із законом Фур'є.

Як перший приклад застосування методу кінцевих елементів розглянемо рішення одномірної стаціонарної задачі теплопровідності. Розподіл температури вздовж одномірної провідної балки можна описати рівнянням:

$$\frac{d}{dx} \left(-k \frac{du}{dx} \right) + q(u, x) = 0$$

Тут u температура,

$q(u, x)$ – витік тепла,

k – теплопровідність.

Розглянемо як приклад випадок $q(u, x) = u$. Тоді рівняння набуде вигляду:

$$-\frac{d}{dx} \left(k \frac{du}{dx} \right) + u = 0, \quad 0 < x < 1$$

Припустимо, що граничні умови мають вигляд:

$$u(0) = 0, \quad u(1) = 1.$$

Це рівняння при $k = 1$ має точне рішення, що дорівнює:

$$u(x) = \frac{e}{e^2 - 1} (e^x - e^{-x})$$

Це можна порівняти з наближеним рішенням, отриманим методом кінцевих елементів. Щоб розв'язати аналізоване рівняння методом кінцевих елементів потрібно зробити таке:

- a) Записати рівняння теплопровідності в інтегральному вигляді.
- b) Проінтегрувати частинами, щоб зменшити порядок похідних.
- c) Ввести кінцево-елементну апроксимацію для температурного поля, використовуючи параметри вузлів та базові функції кінцевих елементів.
- d) Проінтегрувати по елементах та обчислити матриці навантаження елементів та вектори правої частини.
- e) Шляхом ансамблювання отримати глобальні рівняння.
- f) Записати граничні умови.
- g) Вирішити глобальні рівняння.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

h) Оцінити потоки.

Розглянемо наведені вище кроки.

а) Інтегральне рівняння

Складемо інтегральне рівняння, використовуючи метод виважених нев'язок:

$$\int R\omega dx = 0$$

Тут R – нев'язка, ω – вагова функція.

$$R = -\frac{d}{dx}\left(k\frac{du}{dx}\right) + u$$

Якщо u точне рішення рівняння по всій області, то нев'язка дорівнює нулю по всій області. Підставимо вираз для нев'язки в інтегральне рівняння:

$$\int_0^1 \left\{ -\frac{d}{dx}\left(k\frac{du}{dx}\right)\omega + u\omega \right\} dx = 0$$

Отримане інтегральне рівняння показує, що нев'язка (або помилка) прагне нуля в середньому по простору; ω – вибирається так, що нев'язка ортогональна до простору функцій, що використовуються як апроксимація u .

б) Інтегрування частинами

Велика перевага розв'язання задачі шляхом розв'язання інтегрального рівняння полягає у можливості зниження порядку похідних за допомогою інтегрування частинами. Використання формули інтегрування частинами дає:

$$\int_0^1 f \frac{\partial g}{\partial x} dx = fg \Big|_0^1 - \int_1^1 g \frac{df}{dx} dx$$

$$\int_1^1 \omega \frac{d}{dx}\left(-k\frac{du}{dx}\right) dx = \omega\left(-k\frac{du}{dx}\right) \Big|_0^1 - \int_0^1 \left(-k\frac{du}{dx}\frac{d\omega}{dx}\right) dx$$

В результаті інтегральне рівняння набуде вигляду:

$$\int_0^1 \left(-k\frac{du}{dx}\frac{d\omega}{dx} + u\omega\right) dx = k\frac{du}{dx}\omega \Big|_0^1$$

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

с) Апроксимація кінцевими елементами

Розділимо область $0 < x < 1$ на три елементи рівної довжини та замінимо $u(x)$ усередині кожного елемента за допомогою кінцево-елементної апроксимації

$$u(\xi) = \varphi_1(\xi)u_1 + \varphi_2(\xi)u_2 = \varphi_n(\xi)u_n$$

$$x(\xi) = \varphi_1(\xi)x_1 + \varphi_2(\xi)x_2 = \varphi_n(\xi)x_n$$

При використанні лінійних базових функцій

$$\varphi_1(\xi) = 1 - \xi$$

$$\varphi_2(\xi) = \xi$$

Далі використовуємо апроксимацію Галеркіна

$$\omega = \varphi_m$$

Інтеграл по аналізованій області можна як суми інтегралів по кожному кінцевому елементу:

$$\int_0^1 dx = \int_0^{\frac{1}{3}} dx + \int_{\frac{1}{3}}^{\frac{2}{3}} dx + \int_{\frac{2}{3}}^1 dx$$

Перейдемо в інтегралах від інтегрування x до інтегралів ξ

$$\int_{x_1}^{x_2} dx = \int_0^1 J d\xi$$

$$J = \left| \frac{dx}{d\xi} \right|,$$

J – Якобіан переходу від x координат до ξ координат.

д) Інтеграли щодо елементів

Інтеграли в лівій частині рівняння мають вигляд:

$$\int_0^1 \left(k \frac{du}{dx} \frac{d\omega}{dx} + u\omega \right) J d\xi$$

Тут

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$u = \varphi_n u_n \omega = \varphi_m$$

і рівняння набуває вигляду:

$$u_n \int_0^1 \left(k \frac{d\varphi_m}{d\xi} \frac{d\xi}{dx} \frac{d\varphi_n}{d\xi} \frac{d\xi}{dx} + \varphi_m \varphi_n \right) J d\xi$$

Зауважимо, що

$$x(\xi) = \varphi_n X_n \quad x = \frac{1}{3} \xi \quad J = \frac{dx}{d\xi} = \frac{1}{3}$$

Матриця, на яку множиться u_n , називається матрицею жорсткості:

$$E_{mn} = \int_0^1 \left(k \frac{d\varphi_m}{d\xi} \frac{d\xi}{dx} \frac{d\varphi_n}{d\xi} \frac{d\xi}{dx} + \varphi_m \varphi_n \right) J d\xi = \int_0^1 \left(k \frac{d\varphi_m}{d\xi} \frac{1}{3} \frac{d\varphi_n}{d\xi} \frac{1}{3} + \varphi_m \varphi_n \right) \frac{1}{3} d\xi$$

Щоб знайти матрицю, підставимо базисні функції та їх похідні

$$\varphi_1(\xi) = 1 - \xi \quad \text{or} \quad \frac{d\varphi_1}{d\xi} = -1$$

$$\varphi_2(\xi) = \xi \quad \text{or} \quad \frac{d\varphi_2}{d\xi} = 1$$

Тоді отримаємо:

$$\begin{aligned} E_{11} &= \frac{1}{3} \int_0^1 \left(9k \left(\frac{d\varphi_1}{d\xi} \right)^2 + (\varphi_1)^2 \right) d\xi = \\ &= \frac{1}{3} \int_0^1 (9k(-1)^2 + (1 - \xi)^2) d\xi = \frac{1}{3} \left(9k + \frac{1}{3} \right) \end{aligned}$$

та аналогічно

$$E_{12} = E_{21} = \frac{1}{3} \left(-9k + \frac{1}{6} \right)$$

$$E_{22} = \frac{1}{3} \left(9k + \frac{1}{3} \right)$$

$$E_{mn} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} \left(9k + \frac{1}{3} \right) & \frac{1}{3} \left(-9k + \frac{1}{6} \right) \\ \frac{1}{3} \left(-9k + \frac{1}{6} \right) & \frac{1}{3} \left(9k + \frac{1}{3} \right) \end{bmatrix}$$

					<i>МР.ПМКМ-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Зауважимо, що матриця жорсткості кінцевого елемента симетрична.

е) Ансамблювання

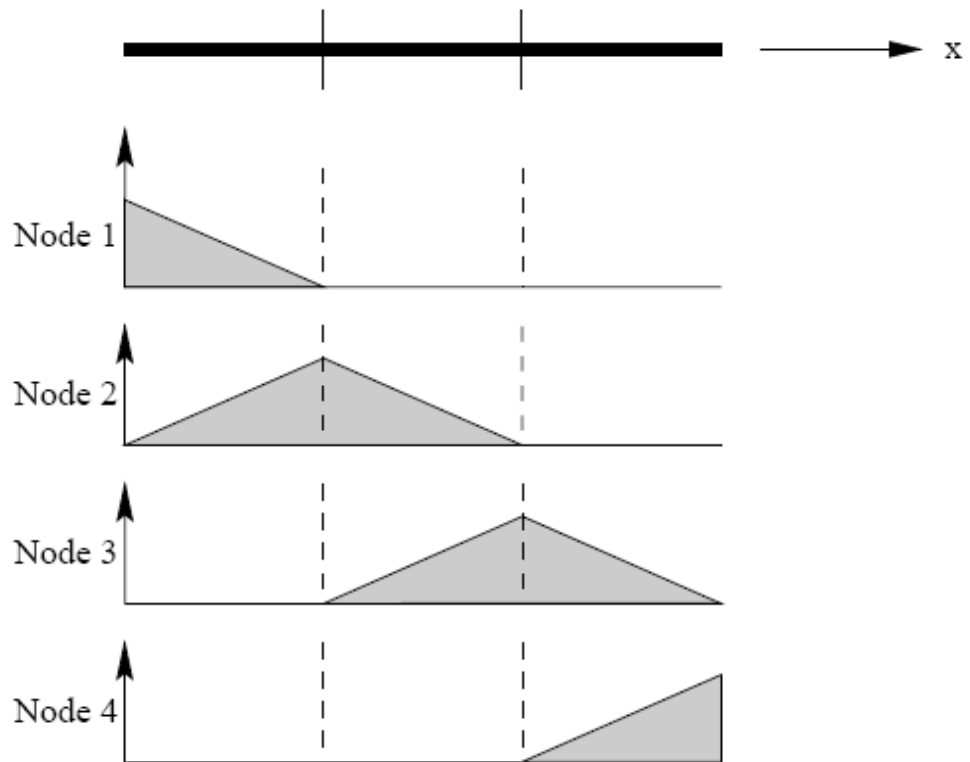


Рисунок 2.2— Ансамблювання задачі теплопровідності

$$\begin{bmatrix} \frac{28}{9} & -\frac{53}{18} & 0 & 0 \\ \frac{53}{18} & \frac{28}{9} + \frac{28}{9} & -\frac{53}{18} & 0 \\ 0 & -\frac{53}{18} & \frac{28}{9} + \frac{28}{9} & -\frac{53}{18} \\ 0 & 0 & -\frac{53}{18} & \frac{28}{9} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix}$$

2.4 Сучасні програмні комплекси для проведення комп'ютерного моделювання методом скінченних елементів

В даний час існує велика кількість програмних продуктів з комп'ютерного моделювання, що використовуються в різних галузях промисловості. Робота багатьох програм заснована на методі кінцевих елементів, який є чисельним

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

методом розв'язання диференціальних рівнянь з приватними похідними, а також інтегральних рівнянь, що виникають при вирішенні задач прикладної фізики. Метод широко використовується для вирішення завдань механіки твердого тіла, що деформується, теплообміну, гідродинаміки та електродинаміки. Це дозволяє вирішити велике коло інженерних завдань. Всі звичайно-елементні програми можна умовно розбити на кілька груп. До першої групи відносяться найбільш складні та дорогі програмні комплекси, що мають великі можливості (ANSYS, COMSOL). Вони служать для моделювання процесів з різної області фізичних явищ, які користуються популярністю у провідних світових виробників техніки та обладнання і добре зарекомендували себе за високу точність вироблених досліджень. Програми іншої групи розробляються як приватні рішення для спеціалізованих завдань у необхідній досліджуваній області, це пояснюється прагненням авторів створити більш простий і компактний інструмент для роботи, що істотно звужує їх можливості. Крім того, є велика кількість програмних модулів для кінцево-елементних розрахунків, деякі з них включені до складу найбільших програмних продуктів. Багато компаній працюють за таким принципом: конструктор розробляє новий проект, технолог обмежує з економічної точки зору можливості виробництва за наявними технологіями. У задачі у людей, які працюють на спеціалізованому програмному забезпеченні, у своїх розрахунках перевірити ще раз конструктора, змоделювати роботу виробу з використовуваними матеріалами і запропонувати доопрацювання, зменшити рівень напруг або прибрати виникаючий концентратор напруг. Бувають завдання, які вирішуються комп'ютерним моделюванням, які допомагають повністю переробити новий проект. Програмний комплекс ANSYS вже протягом більш ніж тридцяти років є однією з найпотужніших і найпопулярнішої кінцево-елементної розрахункової системою у світі (більше мільйона лише легальних користувачів у 117 країнах світу, близько 98 тис.). комерційних (промислових) інсталяцій, близько 128 тис. «університетських» (некомерційних, дослідницьких) інсталяцій. В число клієнтів компанії ANSYS входять практично всекрупні промислові корпорації світу: BMW, Boeing, Caterpillar, Daimler-Chrysler, FIAT,

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Ford, General Electric, Lockheed Martin, Mitsubishi, Shell, Volkswagen-Audi та ін., а також результати досліджень застосовуються на багатьох провідних підприємствах промисловості Російської Федерації. -грами яв ється файлова сумісність усієї лінійки продуктів ANSYS для всіх підтримуваних платформ. Універсальність програми дозволяє використовувати одну і ту ж модель для вирішення таких пов'язаних завдань, як міцність при тепловому навантаженні, вплив магнітних полів на міцність конструкції, тепломасоперенесення в електромагнітному полі. Можливості пост-процесингу ANSYS дозволяють детально вивчити поведінку виробу при навантаженні. Користувач може переглядати результати як загалом, для всієї конструкції, так і детально -на рівні окремого шару. Відмінною особливістю ANSYS Composite PrePost є наявність унікальних алгоритмів для моделювання складкоутворення (драпірування), що дозволяє враховувати в розрахунку орієнтацію волокон у шарах, навіть у разі складної геометричної форми виробу. Основні недоліки: висока вартість, складність в освоєнні.

Висновки до розділу 2

Метод скінченних елементів - це один з найбільш ефективних чисельних методів вирішення математичних завдань, що описують стан фізичних систем складної структури.

Відзначимо кілька важливих переваг методу кінцевих елементів.

1. Метод кінцевих елементів дозволяє побудувати зручну схему формування системи рівнянь алгебри щодо вузлових значень шуканої функції. Наближена апроксимація рішення за допомогою простих поліноміальних функцій та всі необхідні операції виконуються на окремому типовому елементі. Потім проводиться об'єднання елементів, що призводить до необхідної системи рівнянь алгебри. Такий алгоритм переходу від окремого елемента до повного набору особливо зручний для геометрично і фізично складних систем.

2. Кожне окреме рівняння алгебри, отримане на основі методу кінцевих елементів, містить незначну частину вузлових невідомих від загального їх числа.

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк. 26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іншими словами, багато коефіцієнтів у рівняннях алгебраїчної системи дорівнюють нулю, що значно полегшує її розв'язання.

3. Завдання, розв'язання яких описується функціями, що задовольняють функціональним рівнянням, зветься континуальних. На відміну від них розв'язання про дискретних завдань точно визначається кінцевим числом параметрів, що задовольняють відповідній системі алгебраїчних рівнянь. Метод кінцевих елементів, як і інші чисельні методи, сутнісно замінює континуальну завдання дискретну. У методі кінцевих елементів вся процедура такої заміни має простий фізичний зміст. Це дозволяє більш повно уявити весь процес вирішення завдання, уникнути багатьох можливих помилок і правильно оцінити отримані результати.

4. Крім континуальних задач схема методу кінцевих елементів застосовується для з'єднання елементів і формування рівнянь алгебри при вирішенні безпосередньо дискретних завдань. Це розширює сферу застосування методу.

5. Форма оброблюваної області може бути довільною, а сітку можна зробити більш рідкісною у тих місцях, де особлива точність не потрібна.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОРПУСІВ ДОЛІТ РІЖУЧЕ-СТИРАЮЧОЇ ДІЇ

3.1 Розробка технологія виготовлення корпусів доліт ріжуче-стираючої дії шляхом зварювання

Основним розміром, який визначає придатність до експлуатації долота будь-якого типу і конструкції, є його зовнішній діаметр. Допуски на величину зовнішнього діаметру наведено у таблиці 3.1. Включення зварних з'єднань у силову конструкцію вимагає від технологів вирішення складного завдання – забезпечення стабільного якості важконавантаженого з'єднання, на прикладі бурового долота. Тобто необхідно забезпечити співвісність осей деалей, що входять у складальний вузол

Таблиця 3.1 – Допуски зовнішнього діаметра бурових доліт типу PDC [36], [37]

Номинальний діаметр долота, дюйм (мм)	Допуск	
	в дюймах	в міліметрах
6 3/4" і менше (171,45 мм і менше)	від 0,015 до +0,00	від 0,381 до +0,00
6 25/32" – 9" (171,45–228,6 мм)	від 0,020 до +0,00	від 0,504 до +0,00
9 1/32"– 13 3/4" (228,6–349,25 мм)	від 0,030 до +0,00	від 0,762 до +0,00
13 25/32" – 17 1/2" (349,25–444,5 мм)	від 0,045 до +0,00	від 1,143 до +0,00
17 17/32" і більше (444,5 мм і більше)	від 0,063 до +0,00	від 1,6002 до +0,00

Конструкція долота типу PDC передбачає наявність корпусу, до якого приварюють лопаті. Корпус, в свою чергу, може бути суцільним або складеним, в залежності від матеріалу, з якого він виготовлений, з лопатей із припаяними алмазно-твердосплавними різцями, відповідно, технологічний процес виготовлення доліт вказаного типу, поділяється на три основні етапи:

- Виготовлення заготовки корпусу долота;
- Виготовлення різців долота;

- Закріплення твердосплавних породоруйнівних елементів на лопатях долота.



а)



б)

Рисунок 3.1 – Загальний вигляд доліт типу PDC: а) – робоча частина; б) – приєднювальна частина (за матеріалами сайту <http://diamant.alcon.com.ua/>)

Корпуси доліт ріжуче-стираючого типу виготовляють складеним, тобто, власне, корпус кріпиться до загартованого сталевого ніпеля долота, який має нарізеву приєднювальну частину, що служить для приєднання бурового долота до колони бурильних труб за допомогою муфти.

Традиційна технологія [27-32] здійснення складання долота передбачає:

- Розміщення лопаті на долоті;

					MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

- Рівномірно по довжині шва розташувати три прихоплення (в повному обсязі зварювальники використовують прихоплення перед зварюванням, оскільки в технології ця умова не зазначена);

- Здійснити зварний шов.

До недоліків існуючої технології можна віднести наступні:

1. Розташування прихоплень не регламентується.
2. Зварювання з'єднання може здійснюватися з будь-якого місця.
3. Напрямок обходу зварного шву не регламентується [30, 66].

На існування теплових деформацій у нарізевому з'єднанні вказує і той факт, що в розрізанні після зварювання деталі бурового алмазного долота не завертаються контрольні калібри (див. рис. 3.2), якими вони свого часу були виготовлені, а між собою ці деталі вільно згортаються. Виходячи з вище сказаного, виникає необхідність навчитися керувати цим процесом на етапі збирання під зварювання.

На рис. 3.3 (за даними [33]) представлені графіки зміни радіального бурових алмазних доліт, з яких видно як впливають теплові деформації після зварювання на точність розташування деталей, що з'єднуються. З графіків видно, що з 30 випадків маємо лише п'ять позитивних результатів, що становить 16% від загальної кількості виробів.

Для вирішення проблеми багатоваріантності складання починають широко застосовуватись комп'ютерні дослідження розмірних зв'язків із застосуванням імітаційних моделей зібраних виробів. Відомо, що з розробці технологічних процесів складання доцільно використовувати принцип диференціації, що дозволяє розділити виріб на найпростіші елементи (складальні одиниці), а складні складальні операції більш прості. Такий підхід дозволяє спростити процес складання та виявити його структуру, але не дає знань про характер взаємодії між елементами структури і, як наслідок, не забезпечує стабільних показників якості виробів. У той час як упорядковане розташування складальних одиниць дозволяє вимагати взаємної компенсації їх похибок у виробі, що збирається.

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Якщо відхилення від співвісності перевищує допустиму величину, необхідно вводити додаткові операції, що призводить до збільшення собівартості виготовлення доліт і негативно відбивається на їх якості.

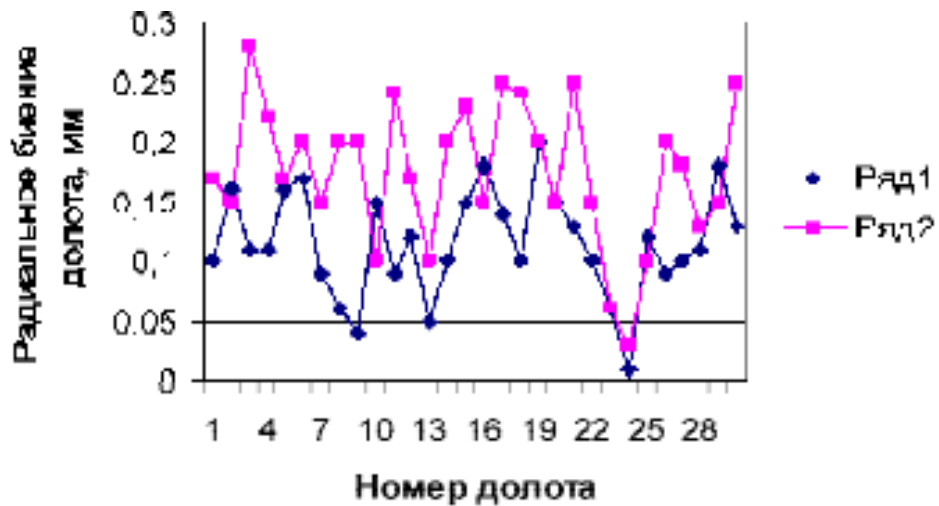


Рисунок 3.2 – Графіки зміни величини радіального відхилення: ряд 1 радіальне відхилення долоата до зварювання; ряд 2 – радіальне відхилення долоата після зварювання.

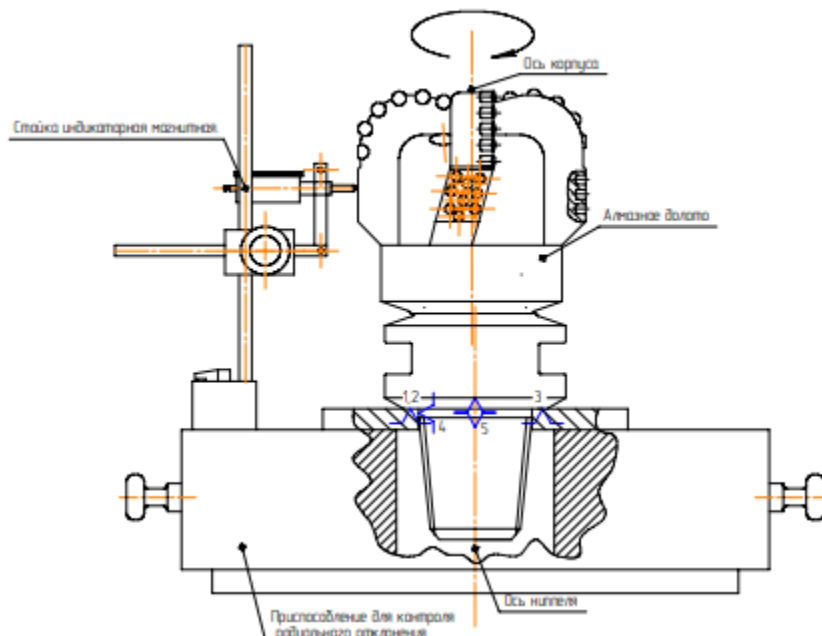


Рисунок 3.3 – Установка для контролю радіального відхилення лопатей, що збираються зварюванням.

Розроблено різні пристрої для контролю радіального биття долоата.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

До початку виконання зварювання зробимо замір радіального відхилення у шести точках рівномірно розташовані по колу. Визначаємо зону з максимальним радіальним відхиленням і перша точка прихплення діаметрально протилежна. Аналогічно виконуємо друге та третє прихплення. Початкову точку зварного шва визначаємо аналогічним способом, а напрямок обходу по периметру визначаємо виходячи з радіального відхилення сусідніх точок сектора з максимальним відхиленням. Після виконання першого шва знову робимо вимір радіального відхилення і залишаємо остигати. Виконуємо дану процедуру після кожного шва. Отже, даний процес є керованим.

Для достовірності результатів даного процесу побудуємо модель нарізевого з'єднання і розв'яжемо задачу в програмному продукті ANSYS.

Відповідно до технології виготовлення, лопаті Г-подібної форми встановлюються у пази на корпусі долота, а потім приварюються з обох боків. Чинні стандарти не регламентують порядок здійснення зварних швів для однієї лопаті, а також порядок здійснення наступних зварних швів.

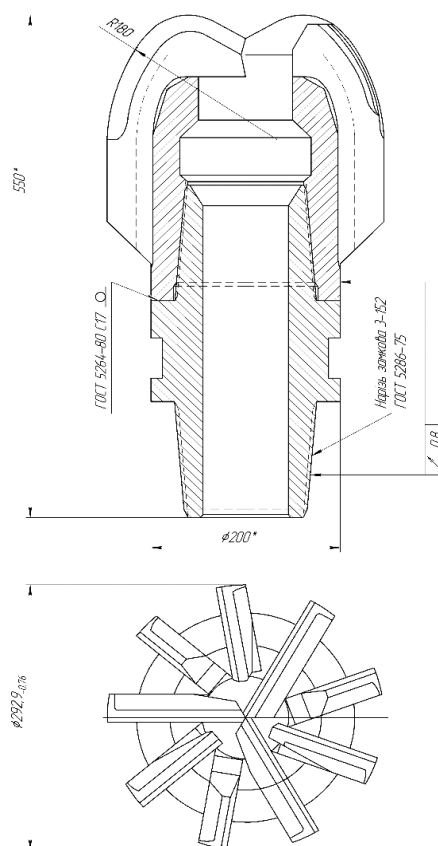


Рисунок 3.4— Кресленик долота ріжуче-стираючої дії

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

На рисунку 3.4 показана конструкція корпусу долота із встановленими лопатями, що приварюються.

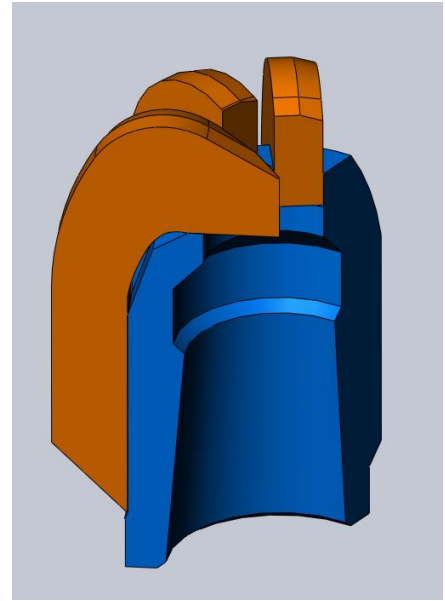


Рисунок 3.5 – 3Д-модель корпусу долота із встановленими лопатями в пази

Щоб зварити секції, необхідно попередньо їх зорієнтувати відносно один одного, для чого в конструкцію долота введено три технологічні штифти циліндричної форми, за допомогою яких з'єднуються всі секції.

Відносна орієнтація секцій долота та забезпечення сталості їх становища до зварювання здійснюється в такий спосіб. Одну із секцій умовно вибирають як базову і до неї приєднують другу секцію, а до другої секції приєднують третю секцію.

Необхідно встановити схеми базування кожної деталі та складальної одиниці. В результаті введення трьох технологічних штифтів базування однієї секції щодо іншої здійснюється за площиною двогранного кута та циліндричного штифта. Контакт по площині позбавляє секцію трьох ступенів свободи, а контакт із циліндричним штифтом - двох ступенів свободи. У результаті в кожній секції залишається по одному ступені свободи - обертання навколо циліндричного штифта. Отже, мають місце неповні комплекти основних та допоміжних баз. Наявність зазначених ступенів волі ускладнює фіксування положення секцій перед зварюванням. З метою полегшення фіксації секцій щодо один одного введено третій штифт, що з'єднує першу та третю секції. Проте запровадження

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

третього штифту порушує правило шести точок, згідно з яким для позбавлення шести ступенів волі необхідно і достатньо шести опорних точок. З введенням третього штифта кількість базуючих точок збільшується до дев'яти, а які шість з них утворюватимуть фактичну схему бази. Тепер визначимо сумарні втрати якості для нашого прикладу за різних положень номінального значення щодо середини поля допуску.

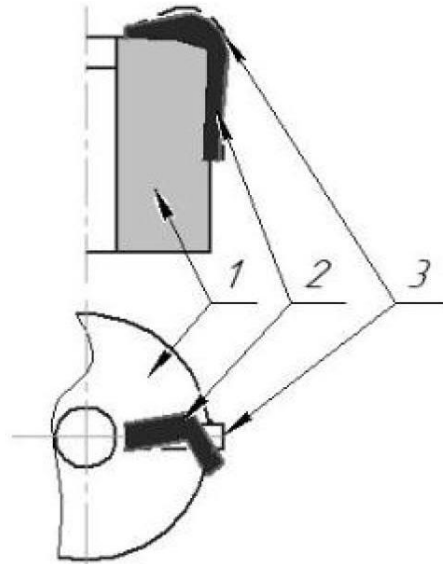


Рисунок 3.6 – Схема утворення теплової деформації лопатей долота: 1 – корпус, 2 – деформована лопать, 3 – недеформована лопать

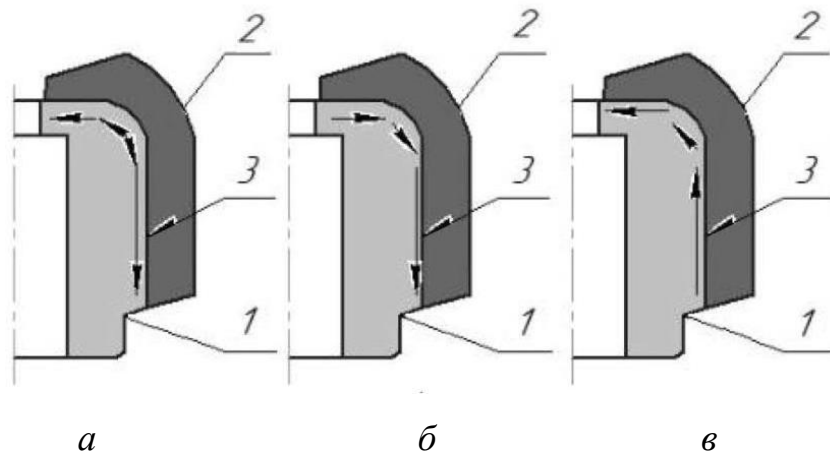


Рисунок 3.7 – Різні схем формування зварних швів у корпусі:

1 – корпус долота; 2 – лопать; 3 – зварний шов

Для обґрунтування технології складання заготовки корпусу долота із лопатями зварюванням досліджено наступні схеми виконання зварних швів (рис. 3.5):

а – з точки спряження; б – «зверху–вниз»; в – «знизу–вверх».

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

3.2 Аналітичний розрахунок викривлення лопатей під час їх приварювання до корпусу

Для оцінювання запропонованих технологічних заходів використали методику, представлену у [17].

- укорочення лопаті від усадочної сили P_{yc} :

$$\Delta = \frac{P_{yc} \cdot L}{S \cdot E}, \quad (1)$$

де наближено усадочна сила визначається за формулою:

$$P_{yc} = -1,7 \cdot \frac{q}{V_{BLL}} \cong 40000 \cdot K^2, \quad (2)$$

де $\frac{q}{V_{BLL}}$ – погонна енергія зварювання, Дж/см (ефективна потужність джерела тепла, Дж/с; $V_{зв}$ – швидкість зварювання, см/с) визначаємо наближено в залежності від довжини катета шва K , S – площа поперечного перерізу, см²; E – модуль пружності, МПа; L – довжина шва, м; M – крутний момент, що виникає від усадочної сили, Нм;

- поперечні залишкові пластичні деформації:

$$\Delta_{поп} = A \cdot \frac{\alpha}{C_\gamma} \cdot \frac{q}{V_{BLL} \cdot C}, \quad (3)$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення; C – товщина листа лопаті; A – емпіричний коефіцієнт, $A=1,0-1,2$; C_γ – об'ємна теплоємність.

- при тавровому двосторонньому зварному з'єднанні кут β визначається сумою кутів від нерівномірної усадки обох швів і визначається за формулою:

$$\Sigma\beta = 0,1 (K / S_n - 0,1) \text{ рад}, \quad (4)$$

S_n – товщина полиці (ширина лопаті).

- величина прогину в лопаті становить:

$$f = ML^2 / (8EJ), \quad (5)$$

- кутовий поворот кінців лопаті становить:

$$\varphi = ML / (EJ). \quad (6)$$

					MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для тієї самої бурової головки ИСМ 14.4764.1001, що була вибрана за прототип для моделювання, визначимо наведені вище розрахункові величини для різних точок для різних напрямів зварювання (таблиця 3.1).

Контрольні точки – рисунок 3.5.

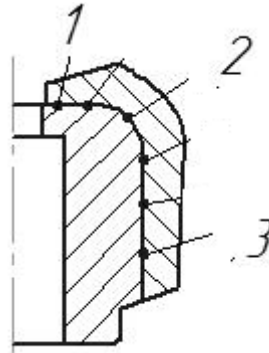


Рисунок 3.8 – Схема вибору контрольних точок для аналітичного визначення деформацій лопатей

Таблиця 3.1-Визначення розрахункових величин для різних точок для різних напрямів виконання зварних швів та товщин катета К, мм

Показник/ Контрольні точки	Рус, Н	Δ , мм	$\Sigma\beta$, град	f, мм	φ , рад	$\Delta_{\text{поп}}$, мм
К=5 мм, перший спосіб						
1	$1,0 \cdot 10^5$	1,6	1,2	-1,5	1,1	-1,05
2	$1,0 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
3	$1,0 \cdot 10^5$	1,8	1,4	-1,8	2,2	-1,18
К=7 мм, перший спосіб						
1	$1,96 \cdot 10^5$	1,8	1,4	-1,6	1,25	-1,2
2	$1,96 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
3	$1,96 \cdot 10^5$	2,1	1,6	-1,9	2,5	-1,3
К=10 мм, перший спосіб						
1	$4,0 \cdot 10^5$	2,16	1,68	-1,92	1,5	-1,44
2	$4,0 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
3	$4,0 \cdot 10^5$	2,52	1,92	-2,28	3	-1,56
К=12 мм, перший спосіб						
1	$6,25 \cdot 10^5$	2,52	1,96	-2,24	1,75	-1,68
2	$6,25 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
3	$6,25 \cdot 10^5$	2,94	2,24	-2,66	3,5	-1,82
К=5 мм, другий спосіб						
1	$1,0 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
2	$1,0 \cdot 10^5$	1,1	0,8	-1,5	1,4	-1,07
3	$1,0 \cdot 10^5$	1,8	1,3	-1,9	1,9	-1,4
К=7 мм, другий спосіб						
1	$1,96 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
2	$1,96 \cdot 10^5$	1,14	0,83	-1,56	1,45	-1,113

3	$1,96 \cdot 10^5$	1,872	1,35	-1,97	1,96	-1,456
K=10 мм, другий спосіб						
1	$4,0 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
2	$4,0 \cdot 10^5$	1,21	0,88	-1,65	1,54	-1,177
3	$4,0 \cdot 10^5$	1,98	1,43	-2,09	2,09	-1,54
K=12 мм, другий спосіб						
1	$6,25 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
2	$6,25 \cdot 10^5$	1,54	1,12	-2,1	1,96	-1,498
3	$6,25 \cdot 10^5$	2,52	1,82	-2,66	2,66	-1,96
K=5 мм, третій спосіб						
1	$1,0 \cdot 10^5$	2,17		-2,4	2,2	-1,9
2	$1,0 \cdot 10^5$	1,32	0,9	-1,5	1,6	-1,21
3	$1,0 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
K=7 мм, третій спосіб						
1	$4,0 \cdot 10^5$	2,39	1,65	-2,64	2,42	-2,09
2	$4,0 \cdot 10^5$	1,45	0,99	-1,65	1,76	-1,33
3	$4,0 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
K=10 мм, третій спосіб						
1	$4,0 \cdot 10^5$	2,39	1,65	-2,64	2,42	-2,09
2	$4,0 \cdot 10^5$	1,45	0,99	-1,65	1,76	-1,33
3	$4,0 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0
K=12 мм, третій спосіб						
1	$6,25 \cdot 10^5$	2,52	1,74	-2,78	2,55	-2,20
2	$6,25 \cdot 10^5$	1,53	1,04	-1,74	1,86	-1,40
3	$6,25 \cdot 10^5$	0	0	0	0	0

3.3 Моделювання розподілу напружень і деформацій під час виконання криволінійних зварних швів методом скінченних елементів

Послідовність дослідження:

- досліджуємо лише один шов;
- досліджуємо два шва на лопаті.

Величини, що досліджуються – деформації лопатей та напруження.

Матеріал лопатей і корпусу – сталь 45 ГОСТ 1050-70. Границя текучості даного – 353 МПа, міцності – 510 МПа, відносне видовження – 20%. [35]

Зварний шов був розбитий на 50 блоків, до кожного із яких послідовно прикладалося тепло. Порядок прикладання тепла до блоків визначав порядок виконання зварного шва.

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

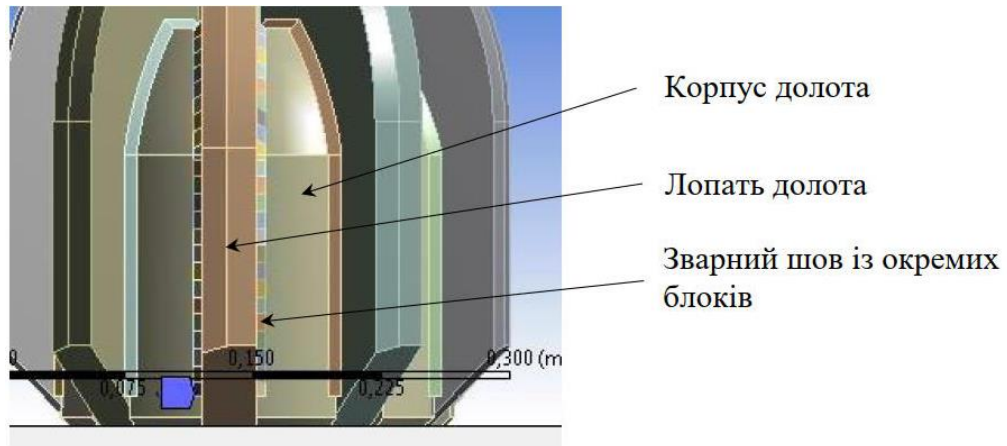


Рисунок 3.9 – 3D-модель зварного шва привареної лопаті до корпусу долота

Використаний інструментарій: ANSYS (академічна ліцензія), Transient Thermal та Static Structural.

Прикладені величини:

Тепловий потік 4000 Вт, затримка між прокладанням шва -5с, після зварювання – охолодження до 22с, загальний час моделювання – 80 с.

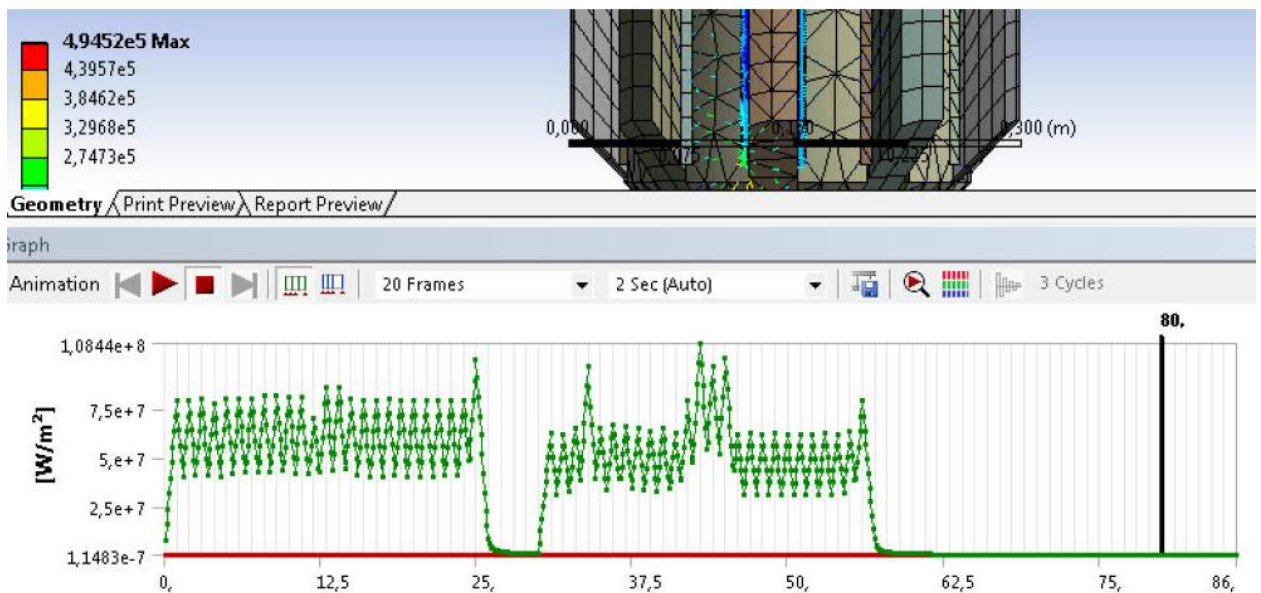


Рисунок 3.10 – Схема моделювання теплового потоку на елементах зварного шва під час приварювання лопатей до корпусу

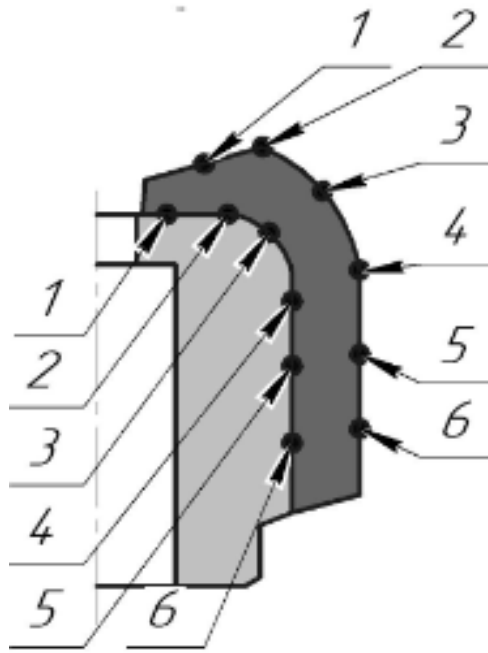


Рисунок 3.11 – Схема розміщення контрольних точок на заготовці долота, де вимірювали деформації (точки на зовнішній поверхні – у деформації у радіальному напрямку, точки на зварному шві – деформації зварного шва)

Розподіл напружень представлено на рисунках нижче.

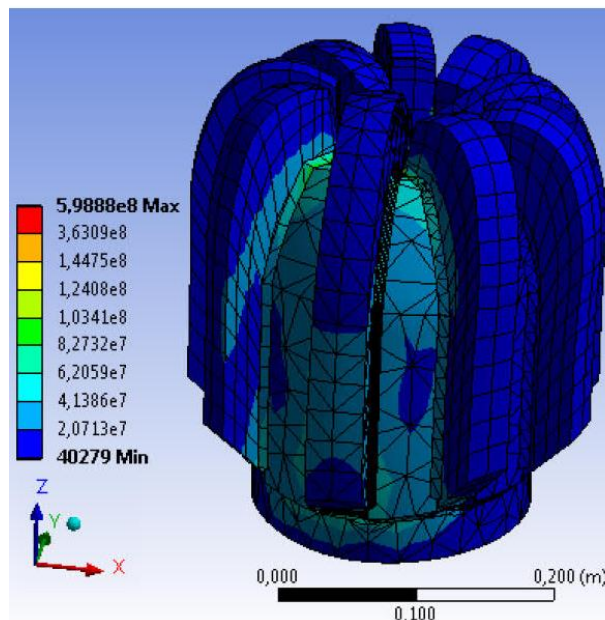


Рисунок 3.12 – Розподіл напружень у зварному шві після виконання двох зварювань згідно схеми б, рис. 3.5

Встановлено, що найменші деформації в важливих перерізах забезпечує схема 1, а максимальні – схема 2.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

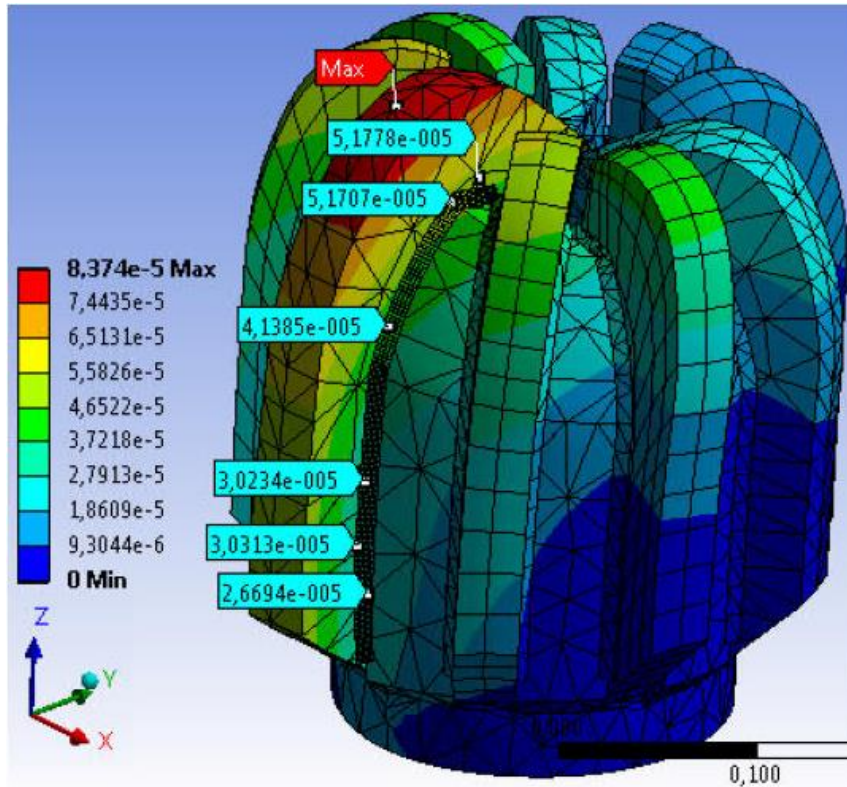


Рисунок 3.13 – Загальні деформації зварного шва після виконання двох зварних швів згідно схеми б, рис. 3.5

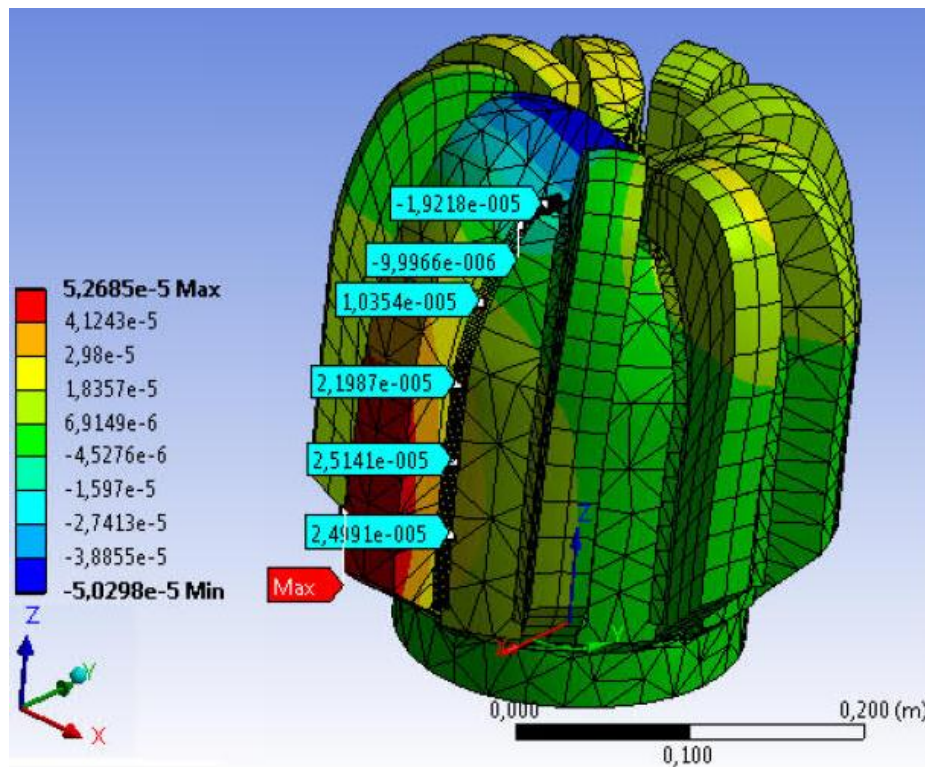


Рисунок 3.14 – Радіальні деформації зварного шва після виконання двох зварних швів згідно схеми б, рис. 3.5

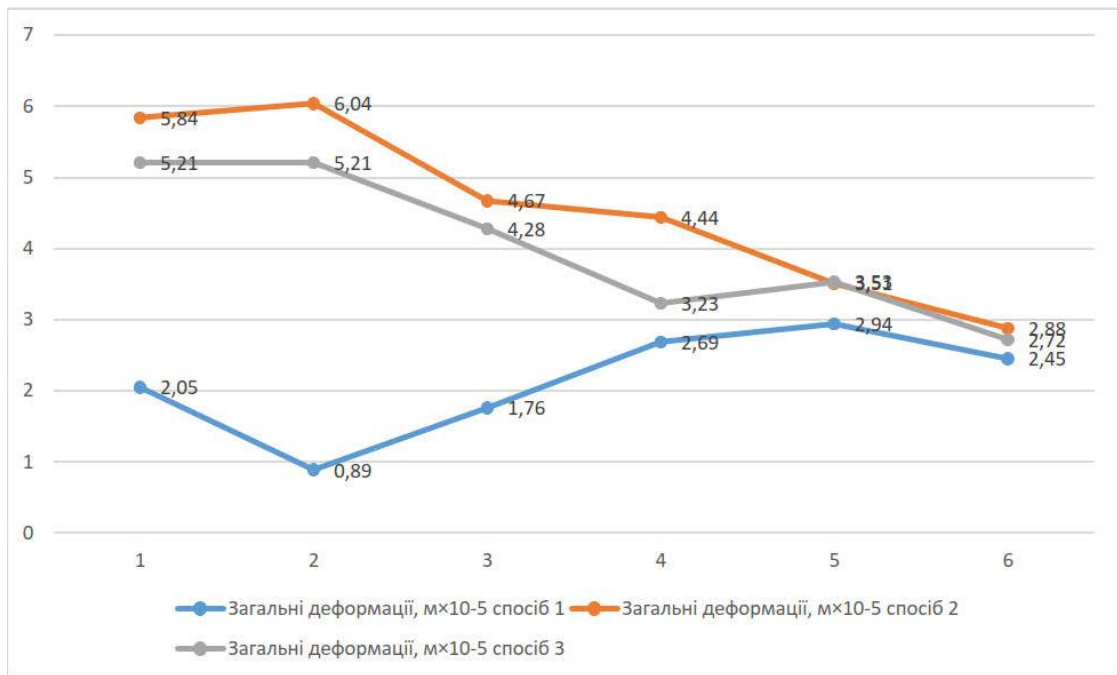


Рисунок 3.15 – Загальні деформації у точках на лопаті після охолодження протягом 30 с для різних схем виконання зварних швів під час складання корпусу

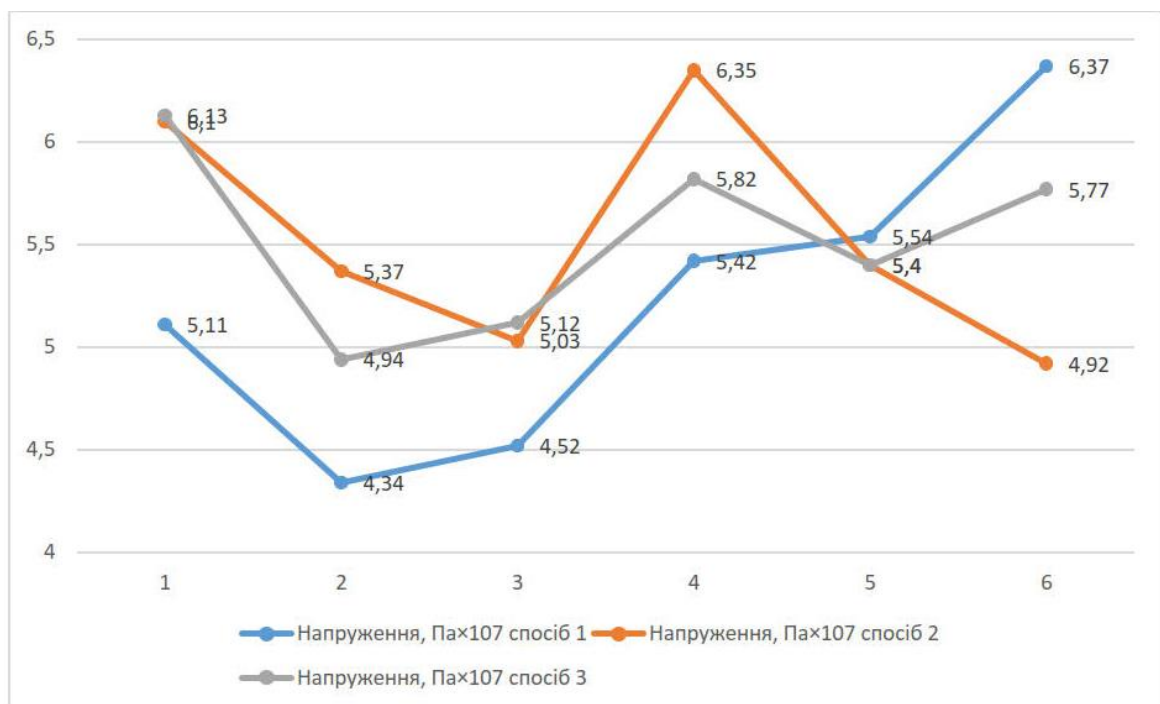


Рисунок 3.16 – Напруження у точках на лопаті після охолодження протягом 30 с для різних схем виконання зварних швів у корпусі

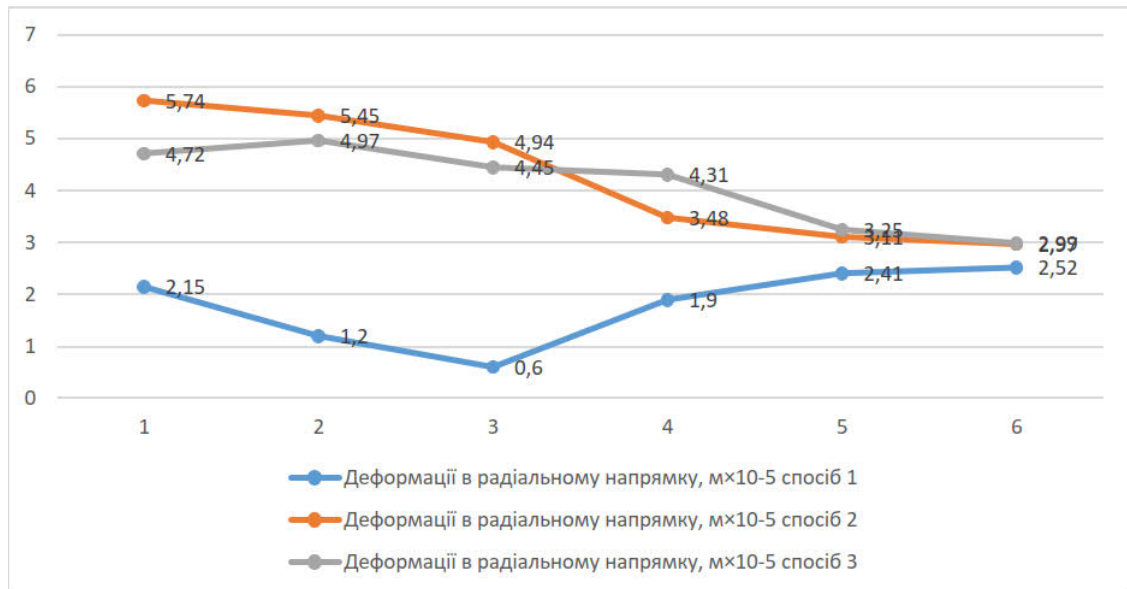


Рисунок 3.17 – Радіальні деформації у точках на лопаті після охолодження протягом 30 с для різних схем виконання зварних швів у корпусі

Таким чином, для забезпечення необхідної точності корпусу долота доцільно використовувати метод зворотних деформацій.

3.4 Визначення величини деформацій елементів корпусу для різних величин товщин зварного шва

Виконувалася СК-перевірка впливу товщини зварного шва на величину деформацій та напружень. Моделювання здійснювалося аналогічно до моделювання у попередньому підрозділі. Розглядалося виконання за схемою а.

Розглядалися такі величини шва: 5 мм, 7 мм та 10 мм. Результати моделювання представлено на рисунках 3.18–3.20.

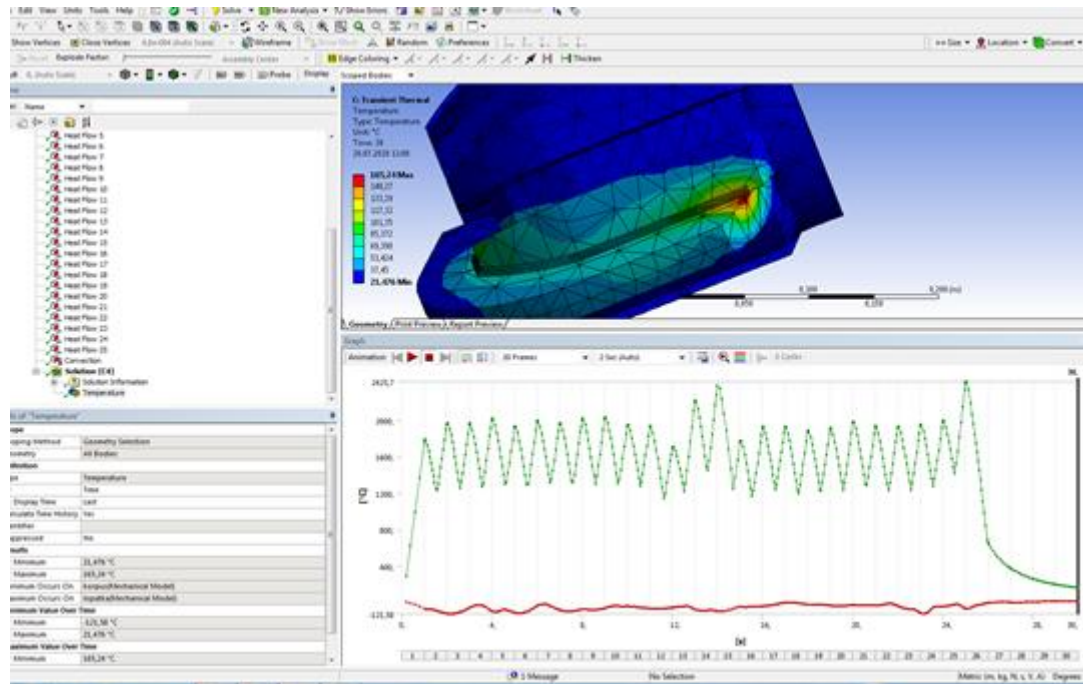


Рисунок 3.20 – Температурні напруження в корпусі для шва товщиною 1 см

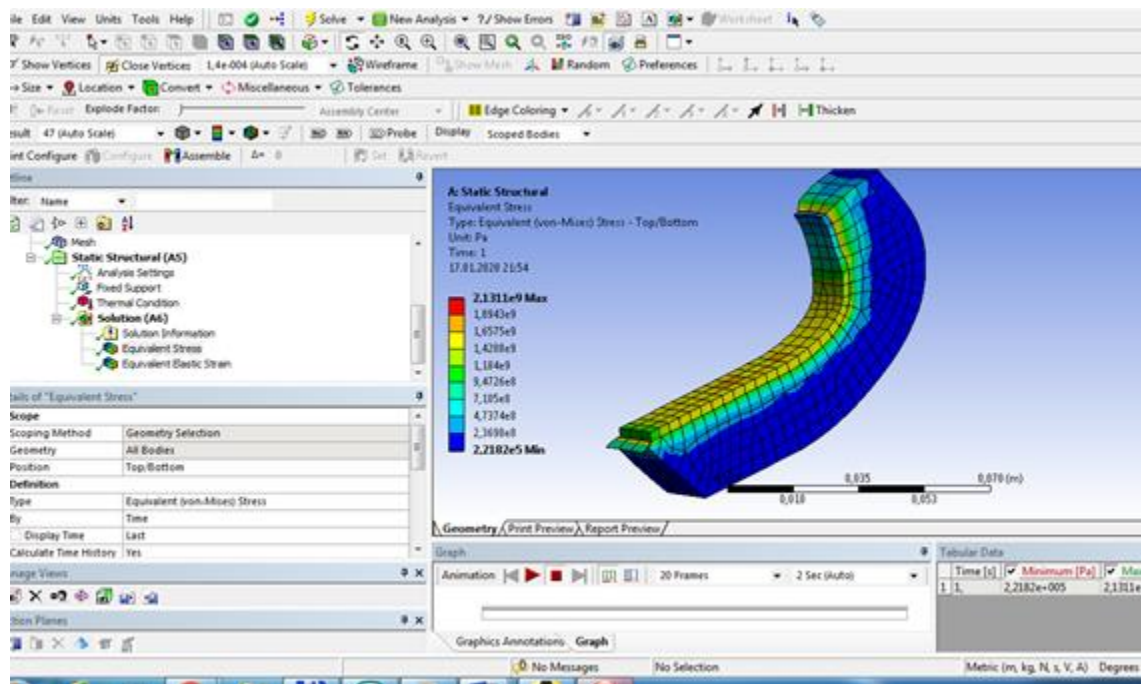


Рисунок 3.21 – Розподіл напружень в зварному шві

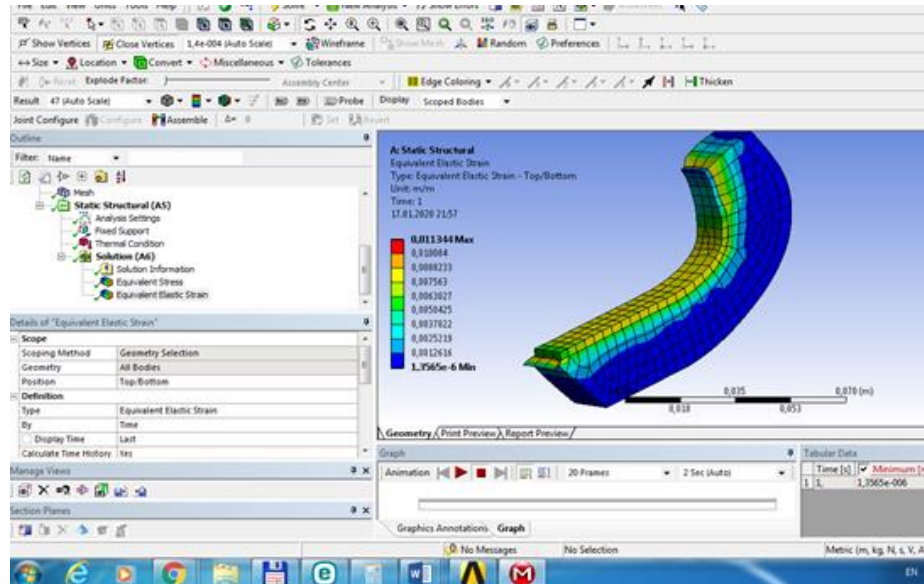


Рисунок 3.22 – Розподіл деформації в зварному шві

Таким чином, за результатами досліджень встановлено, що

1. Теплові деформації під час зварювання викривляють деталь істотно;
2. При зварюванні однієї лопаті необхідно починати із криволінійної поверхні.
3. При зварюванні наступної лопаті використовуємо метод зворотних деформацій.

Висновки до розділу 3

Було виконано скінченно-елементне моделювання дослідження напружено-деформованого стану заготовки корпусів доліт, отриманих шляхом зварювання (академічна ліцензія ANSYS). В результаті проведених досліджень встановлено, що:

1. Теплові деформації під час зварювання викривляють деталь - лопать істотно;
2. При зварюванні однієї лопаті необхідно починати процес зварювання із криволінійної поверхні.
3. При зварюванні наступної лопаті використання методу зворотних деформацій забезпечує підвищення точності виготовлення корпусу долота.

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

ВИСНОВКИ

- Результати вивчення характеру зношування доліт ріжуче-стираючої дії показали, що вагомими причинами їх руйнування є похибки виготовлення корпусів, а також переваги вказаних доліт порівняно із шарошковими через відсутність їх конструкції підшипникових опор.

- Аналіз технологічних процесів виготовлення корпусів доліт ріжуче-стираючої дії показав, що важливим чинником для підвищення точності їх виготовлення є удосконалення схем виконання зварювальних швів для приварювання лопатей до тіла корпусу.

- Розроблено 3D-модель зварного корпусу і проведено дослідження напружено-деформованого стану методом скінченних елементів для різних схем зварювання (академічна ліцензія ANSYS).

- Встановлено, що виникнення теплових деформацій, під час приварювання лопаті до тіла долота залежить від схеми виконання просторових зварних швів. Більш істотних деформацій зазнають лопаті (вигини, повороти, перекося) порівняно з корпусом, оскільки вони є менш масивними, а зварювальний шов необхідно виконувати, починаючи із точки, яка найбільш наближена до перерізу корпусу, точність розташування елементів якого необхідно забезпечити.

- Для досягнення точності виготовлення зварного корпусу пропонується використання методу зворотних деформацій, який полягає в тому, що приварювання лопатей здійснюється у напрямку, протилежному напрямку деформацій попередньо привареної лопаті.

- Для зменшення теплових деформацій і напружень під час зварювання корпусу доцільно збільшувати розміри лопатей, що приварюються до корпусу, а для компенсації відхилення зовнішнього діаметру корпусу запропоновано приварювати лопать таким чином, щоб вона була максимально віддалена від попередньої, привареної до корпусу.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Энергетична стратегія України на період до 2030 року, <https://ips.ligazakon.net/document/FIN3853A>
2. ГОСТ 4.335-85 СПКП. Инструмент породоразрушающий. Номенклатура показателей. [Чинний від 1985-11-27]. Москва, 1985. 6 с.
3. Барвинок В.А. Проблематика управления качеством бурового породоразрушающего инструмента / В. А. Барвинок, И. В. Безбородова, Р.В. Буткевич // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. –№ 4(4), т. 12. – С. 865 – 872.
4. Хорунов В. Ф. Особенности износа и критерии ремонтпригодности буровых долот с алмазно-твердосплавными резцами / В. Ф. Хорунов, Б. В. Стефанов, О. М. Сабадаш, В. В. Воронов // Автоматическая сварка. – 2012. – № 10. – С.43-47.
5. Мясников Я.В. Руководство по оценке износа долот типа PDC в промышленных условиях / Я.В. Мясников, А.В. Ионенко, С.Г. Гаджиев, А.А. Липатников, Е.Г. Леонов // Специализированный журнал «Бурение и нефть». – 2014. – № 3.
6. Сулейманов А.А. Кольца–шаблоны Round Ring™ как средство контроля экономической эффективности // Бурение и Нефть. – 2015. – № 6.
7. API Standards For Rock Bits And PDC Bits. URL: <https://kcbits.com/drill-bit-education/api-standards/> (дата звернення: 20.06.2020).
8. Пригоровская Т.А. Статистический анализ отработки долот типа PDC и прогнозирование их стойкости //Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 3. – С. 41-56. URL: <http://ogbus.ru/article/view/statisticheskij-analiz-otrabotki-dolot-tipa-pdc-i-prognozirovanie-ix-stojkosti> (дата звернення: 20.06.2020).
9. Яким Р.С. Забезпечення якості тришарашкових бурових доліт на етапах їх життєвого циклу / Р.С. Яким, Ю.Д. Петрина, І.С. Яким // Прогресивні технології і

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

системи машинобудування : матер. міжнародного зб. наукових праць. Вип. 1,2. – № 43. – Донецьк. ДонНТУ, 2012. – С. 338 – 342.

10. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов / ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. Киев, 2018. Вып. 21. 483 с.

11. Майстренко А. Л. Формирование структуры композиционных алмазосодержащих материалов в технологических процессах / А. Л. Майстренко; под ред. Н. В. Новикова. – К.: Наукова думка, 2014. – 343 с.

11. СТП 90.502.–85. Связки металлические марок М6-14(МЖ), М6-15(МЗ), М6-14(МОЗ). – К.: ИСМ НАН України, 1985.

12. Долотная сталь : монография / А.П. Амосов, А.Г. Ищук, Т.М. Пугачева. – Москва: Машиностроение. 2008. 291 с.

13. СТП 28.5 05417377 100 2003. Метод оценки износостойкости алмазно-твердосплавных пластин. Киев : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2003. 10 с. (Стандарт підприємства).

14. Хорунов В. Ф. Влияние палладия на структуру и технологические свойства припоев системы Ag–Cu–Zn–Ni–Mn / В. Ф. Хорунов, С. В. Максимова, Б. В. Стефанив // Автоматическая сварка. – 2012. – № 9 (173). – С.23–28.

15. Майсурадзе М.В. Ударная вязкость буровых долот из высокопрочной стали 25Г2С2Н2МА / М.В. Майсурадзе, М.А. Рыжков, Ю.В. Юдин // XV международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлосведов-молдых ученых. Сборник научных трудов. – Екатеринбург : УрФУ, 2014. С. 325-326.

16. Богаченко А. Г. Новые экономно-легированные литые стали для корпусов буровых коронок. / А. Г. Богаченко, Ю. П. Линенко-Мельников, В. И. Мельник // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент. Техника и технология его применения : Сб.научн.трудов. Вып. 19. 2010. С. 69–78.

18. Захаров Д.А. О буровых твердых сплавах на основе высокотемпературных карбидов вольфрама / Д.А. Захаров, А.П. Амосов, А.В. Сальников, М.А. Сальников // Известия вузов. Порошковая металлургия и

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

функциональные покрытия. – 2014. – № 1. URL: <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2014-1-29-34> (дата звернення: 04.06.2020).

19. Майсурадзе М.В. Исследование высокопрочной конструкционной стали 25Г2С2Н2МА / М.В. Майсурадзе, М.А. Рыжков, Ю.В.Юдин // XV международная научно-техническая Уральская школа-семинар металловедов-молодых ученых. Сборник научных трудов. – Екатеринбург : УрФУ, 2014. – С. 216–218.

20. Стефанив Б. В. Исследование износостойкости защитных покрытий в условиях гидроабразивного изнашивания // Автоматическая сварка. – 2016. – № 9. – С. 29–32.

21. Саленко А.Ф. Методы получения и обработки износостойких покрытий для буровых долот / А.Ф. Саленко, А.Н. Федотьев, Л.П. Федотьева, А.М. Мана // Науковий вісник НГУ. – 2015. – № 6. – С.48–54.

22. Колмыков В.И. Повышение эксплуатационной надежности бурового инструмента и деталей горных машин химико-термической обработкой: монография. – Тверь: Тверской государственный технический университет. 2016. – 188 с.

23. Бугаков В.И. Технология изготовления буровых долот при высоких давлениях и температурах с применением новых алмазных материалов / В.И. Бугаков, А.И. Лаптев // Известия Высших Учебных Заведений. Черная Металлургия. – 2017. – №60(1). – С. 36–42. URL: <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-1-36-42> (дата звернення: 20.06.2020).

24. Журавлев А. Н. Оценка качества структурно упорядоченной сборки под сварку резьбовых соединений/ А. Н. Журавлев, М. А. Борисов // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. – 2007. – Т. 311, № 2 : Математика и механика. Физика. – С. 27–30.

25. Стефанив Б. Ф. Разработка технологии пайки алмазно-твердосплавных резцов // Автоматическая сварка. – 2013. – № 2. – С. 38–42.

26. . Стефанив Б. Ф. Особенности индукционной пайки алмазно-твердосплавных резцов с лопастью корпуса составного бурового долота // Автоматическая сварка. – 2013. – № 08 (724). – С. 50–54.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

27. Журавлев А.Н. Влияние тепловых деформаций на качество сборки под сварку резьбовых соединений / А. Н. Журавлев, М. А. Борисов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2010. – № 1(21). – С. 126–132.

28. Хостикоев М.З. Изготовление буровых долот на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах с резбонакатным инструментом / М.З. Хостикоев, А.Н. Махненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 4. – С. 322–323.

30. Островский М.С. Программирование обработки деталей горных машин на станках с ЧПУ: Учебное пособие / М.С. Островский, В.У. Мнацаканян, В.А. Тимирязев. – Москва, 2009. – 227 с.

31. Богомолов Р.М. Совершенствование технологии и сборки буровых шарошечных долот / Р.М. Богомолов, Н.В. Насов, С.М. Крылов, В.И. Кремлев. – М.: Машиностроение, 2014. – 228 с.

Журавлев А.Н. Моделирование процесса сборки под сварку резьбового соединения бурового алмазного долота / А. Н. Журавлев, М. А. Борисов // Наука и образование–2007 : Мат. межд. науч.-техн. конф. Мурманск : – Информрегистр 0320700491. – С. 131–134.

32. Борисов М. А. Обеспечение соосности резбосварных соединений буровых алмазных долот на основе структурно упорядоченной сборки : автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 “Технология машиностроения” / М.А. Борисов. – Самара, 2009. – 24 с.

33. Журавлев А.Н. Разработка теоретических основ и реализация структурно упорядоченной сборки буровых долот : автореф. дисс. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.02.08 “Технология машиностроения” / А.Н. Журавлев.– Самара, 2009. – 48 с.

35. Залого В. А. Имитационная модель прямоугольного свободного резания / В. А. Залого, Д. В. Криворучко, С. Н. Хвостик // Вісник Сумського державного університету. Серія, Технічні науки : науковий журнал. – 2005. – № 11. – С. 55 –

36. Сычев Ю.И. Повышение точности и качества многопозиционной обработки

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

выбором структуры и параметров агрегатированных технологических систем: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.08 – «Технология машиностроения» / Ю.И. Сычев. Харьков, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 2006. – 24 с.

37. Неупокоев В. Г. Вопросы теории и практики проектирования, производства и эксплуатации буровых шарошечных долот / В. Г. Неупокоев – Самара: Издательство Самарского научного центра Российской академии наук, 2000. – 376 с.

38. Каинов Д. А. Проблемы построения критериев качества при производстве деталей / Д.А. Каинов // Вестник Национального технического университета Украины „Киевский политехнический институт”. Машиностроение – К.: НТУУ „КПИ”. – 2008. – Вып. 54. – С. 108–113.

38. Богомоллов Р.М. Буровой инструмент / Р.М. Богомоллов, Н.В. Носов // Энциклопедия изобретений, в двух частях. – М., Инновационное машиностроение, 2015. –827 с.

39. Системи управління якістю. Вимоги: ДСТУ ISO 9001–2001. [Чинний від 2001– 01–01]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 23 с. (Національний стандарт України).

40. Инновационные подходы к конструированию высокоэффективного породоразрушающего инструмента / А.Я. Третьяк, В.В. Попов, А.Н. Гроссу, К.А. Борисов // ГИАБ. – 2017. – № 8. – С. 225–230.

41. Вовчановский И.Ф. Породоразрушающий инструмент на основе «Славутича» для бурения глубоких скважин. – Киев: Наукова думка, 1979. 66 с.

42. Арцимович Г.В. Механо-физические основы создания породоразрушающего бурового инструмента. – Новосибирск: Наука, 1985. – 129 с.

43. Породоразрушающий инструмент для геологоразведочных скважин: справочник / Н. И. Корнилов, В .С. Травкин, Л. К. Берестень, Д. И. Коган. – М.: Недра, 1979. – 359 с.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

44. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. – Вып. 12 – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2009. – 546 с.

					<i>МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						52
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ДОДАТКИ

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

Додаток А

Показники якості доліт ріжуче-стираючої дії відповідно до ГОСТ 4.335-85

Назва показника	Позначення показника якості	Назва властивості, що характеризується
1. Показники призначення		
1.1 Зовнішній діаметр, мм	D	Відповідність стандартному ряду
1.2. Граничне відхилення зовнішнього діаметра, мм	ΔD	Точність виготовлення
1.3. Радіальне биття калібруючої поверхні щодо осі нарізи, мм	ΔDH	Точність виготовлення
1.4. Осьове навантаження, кН	G	Здатність працювати в заданому діапазоні навантажень
1.5. Частота обертання, хв-1	n	Здатність працювати в заданому діапазоні частот обертання
1.6. Середня механічна швидкість проходки, м / год	vm	Здатність ефективно руйнувати гірську породу
2. Показники надійності		
2.1 Середнє напрацювання до відмови за ГОСТ 27.002-83	T_{cp}	Безвідмовність
2.2 Коефіцієнт збереження продуктивності за ГОСТ 27.004-85	$K_{пр}$	Рейсова швидкість проходки, що забезпечує ефективний темп поглиблення стовбура свердловини.
2.3 Встановлений термін зберігання, років	t_c	Збережуваність
3. Показники економного використання сировини і матеріалів		
3.1 Питомі експлуатаційні витрати (на 1 м проходки), грош.од./м	C	Здатність забезпечувати економічність буріння свердловин, віднесена до показника
4. Показники технологічності		
4.1. Питома матеріаломісткість, кг/м	$t_{уд}$	Економія матеріалів
4.2 Питома трудомісткість виготовлення, нормо-год / м	$T_{уд}$	Трудомісткість
5. Показники транспортабельності		
5.1. Середня трудомісткість підготовки продукції до транспортування, нормо-год	T	Пристосованість до переміщення
5.2. Габаритні розміри транспортного місця, м	–	Ті самі
6. Показники стандартизації і уніфікації		
6.1. Коефіцієнт застосованості, %	$K_{пр}$	–
7. Показники патентно-правові		
7.1. Показник патентної чистоти	$Пн.ч.$	–
8. Показники економічні		
8.1. Собівартість одиниці продукції	E	–

					МР.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Додаток Б

Допуски зовнішнього діаметра бурових доліт типу PDC [36], [37]

Номинальний діаметр долота, дюйм (мм)	Допуск	
	в дюймах	в міліметрах
6 3/4" і менше (171,45 мм і менше)	від 0,015 до +0,00	від 0,381 до +0,00
6 25/32" – 9" (171,45–228,6 мм)	від 0,020 до +0,00	від 0,504 до +0,00
9 1/32"– 13 3/4" (228,6–349,25 мм)	від 0,030 до +0,00	від 0,762 до +0,00
13 25/32" – 17 1/2" (349,25–444,5 мм)	від 0,045 до +0,00	від 1,143 до +0,00
17 17/32" і більше (444,5 мм і більше)	від 0,063 до +0,00	від 1,6002 до +0,00



Контроль прохідним кільцем-шаблоном Round Ring™ з внутрішнім діаметром 216,05 мм (номінальний діаметр долота – 215,9 мм (8 1/2")), висота кільця-шаблону Round Ring™ – 30 мм) [38]

					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк. 55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

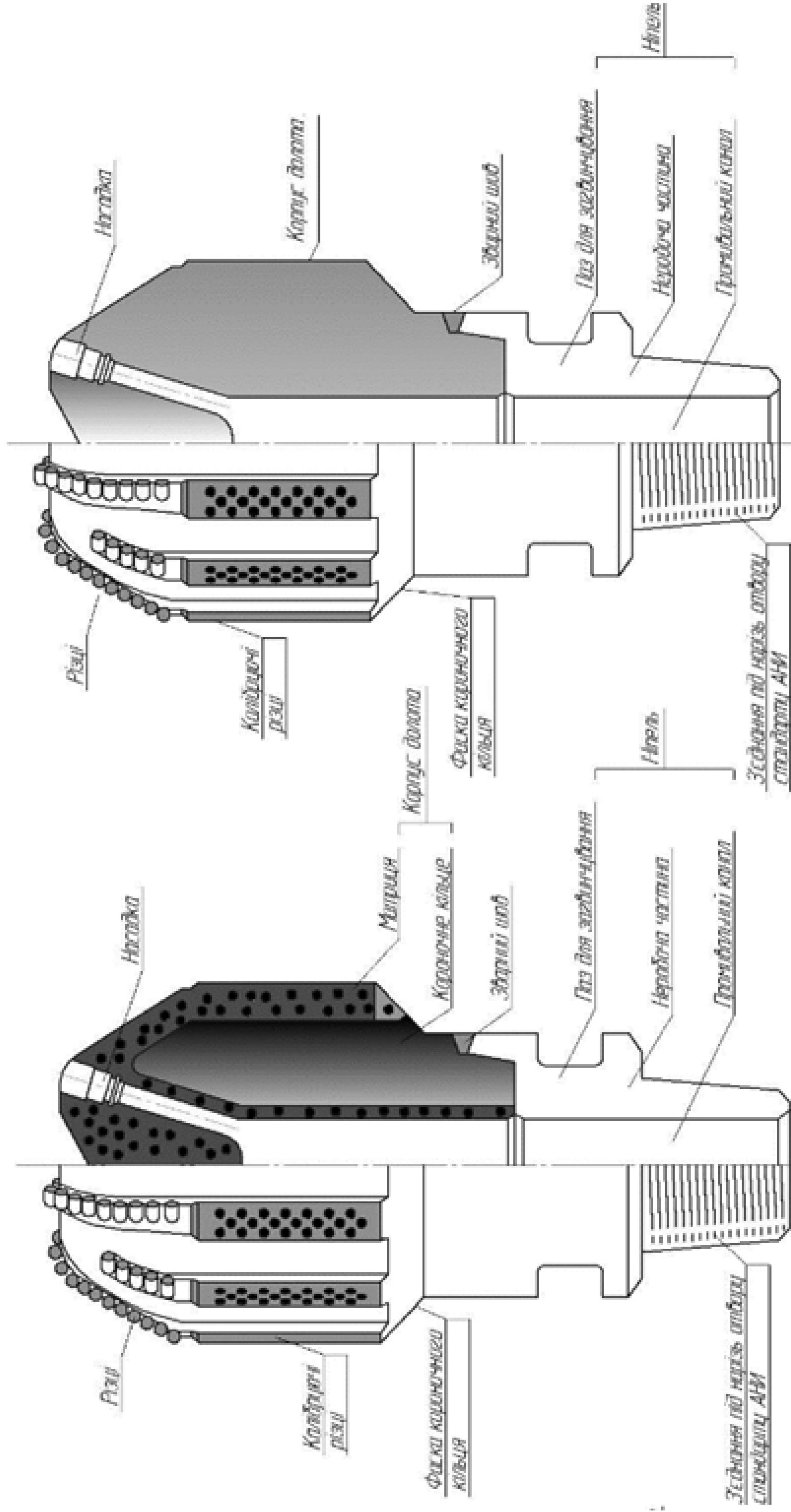
Додаток В

Виготовлення суцільних сталевих корпусів доліт (Джерело: матеріали фірми Huges Christensen)



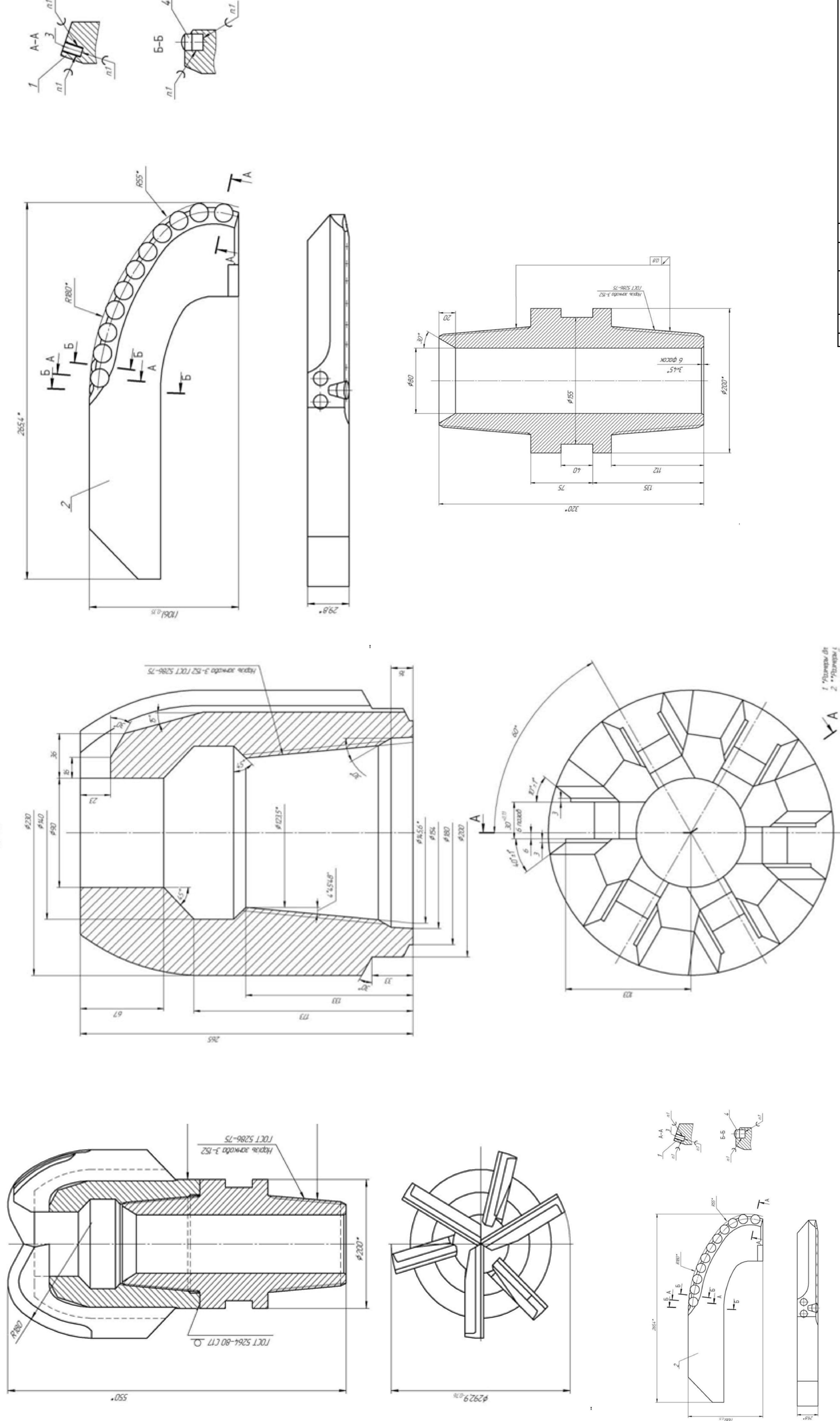
					<i>MP.ПМКм-140.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		56

Схеми конструкцій доліт із корпусом із твёрдого сплаву та сталі (Джерело: матеріали фірми Hudges Christensen)



МР.ПМЖМ-14.000000002		Лист	Листа	Масштаб
Схеми конструкцій доліт		Лист	Листа	Масштаб
Лист	№ докум.	Лист	Листа	Масштаб
Розроб.	Кочук ВВ	Лист	Листа	Масштаб
Перев.	Ротак ІВ	Лист	Листа	Масштаб
Рекон.	Ротак ІВ	Лист	Листа	Масштаб
Нормат.	Ротак ІВ	Лист	Листа	Масштаб
Уклад.	Ротак ВІ	Лист	Листа	Масштаб
ІФНТУНГ		Лист		
ПМЖМ-20-1		Лист		
Формат А1		Лист		

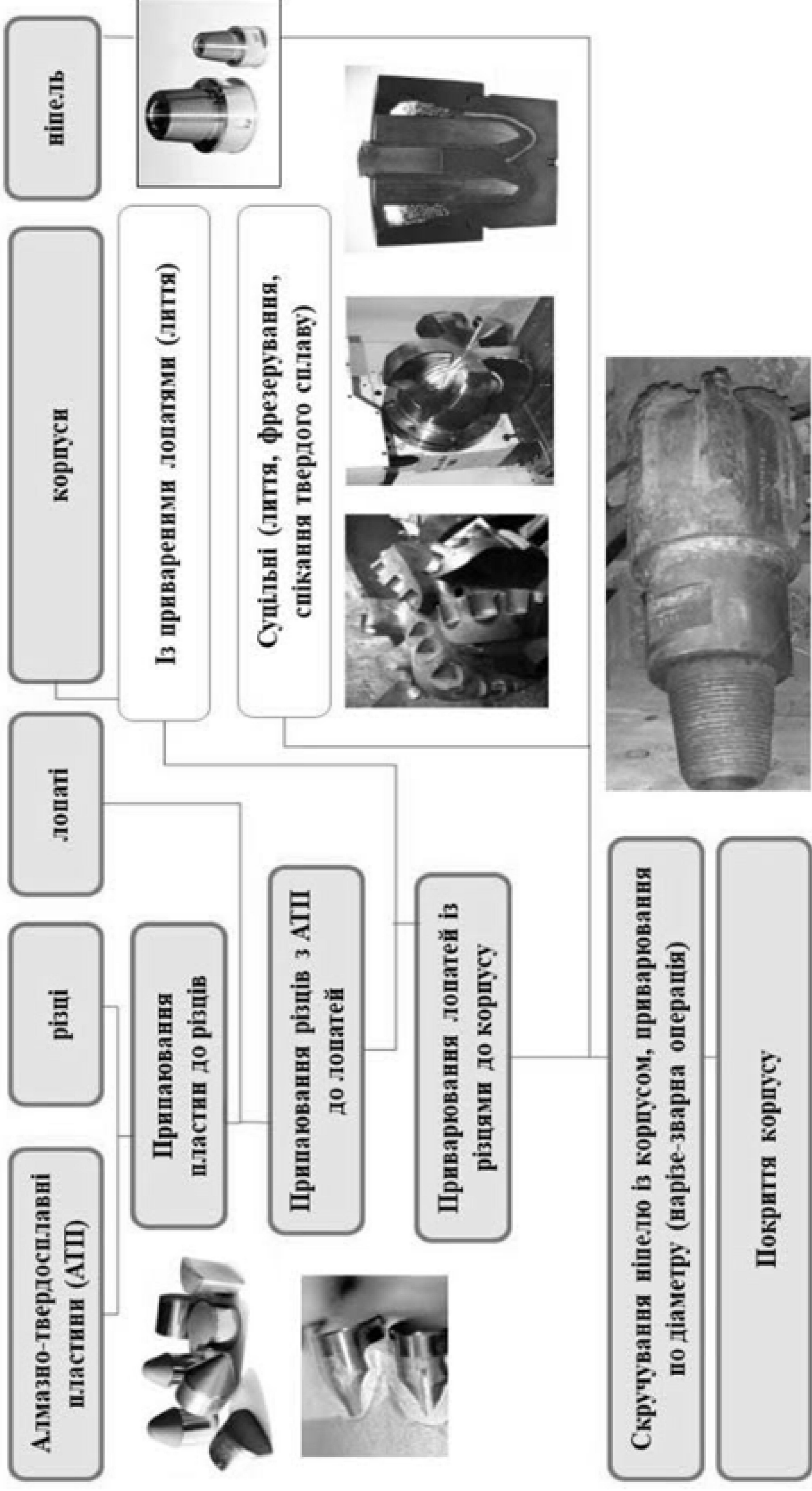
Кресленики долота та корпусу



1 - корпус др.
2 - долото
3 - др. др. р.т.

MP ПМ КМ-14.000000.0004		Мат.	Масса	Масштаб
Длина	№ докум.	Табл.	Лист	Листов
Разработ.	Автом. В.В.			
Проб.	Рольж. /Л.Я.			
Инженер	Рольж. /Л.Я.			
Реценз.	Рольж. /Л.Я.			
Провер.	Рольж. /Л.Я.			
Спр.	Рольж. В.В.			
		ИФНТУНГ		ПМ КМ-20-1
		Феррит		АТ
		Конструктор		

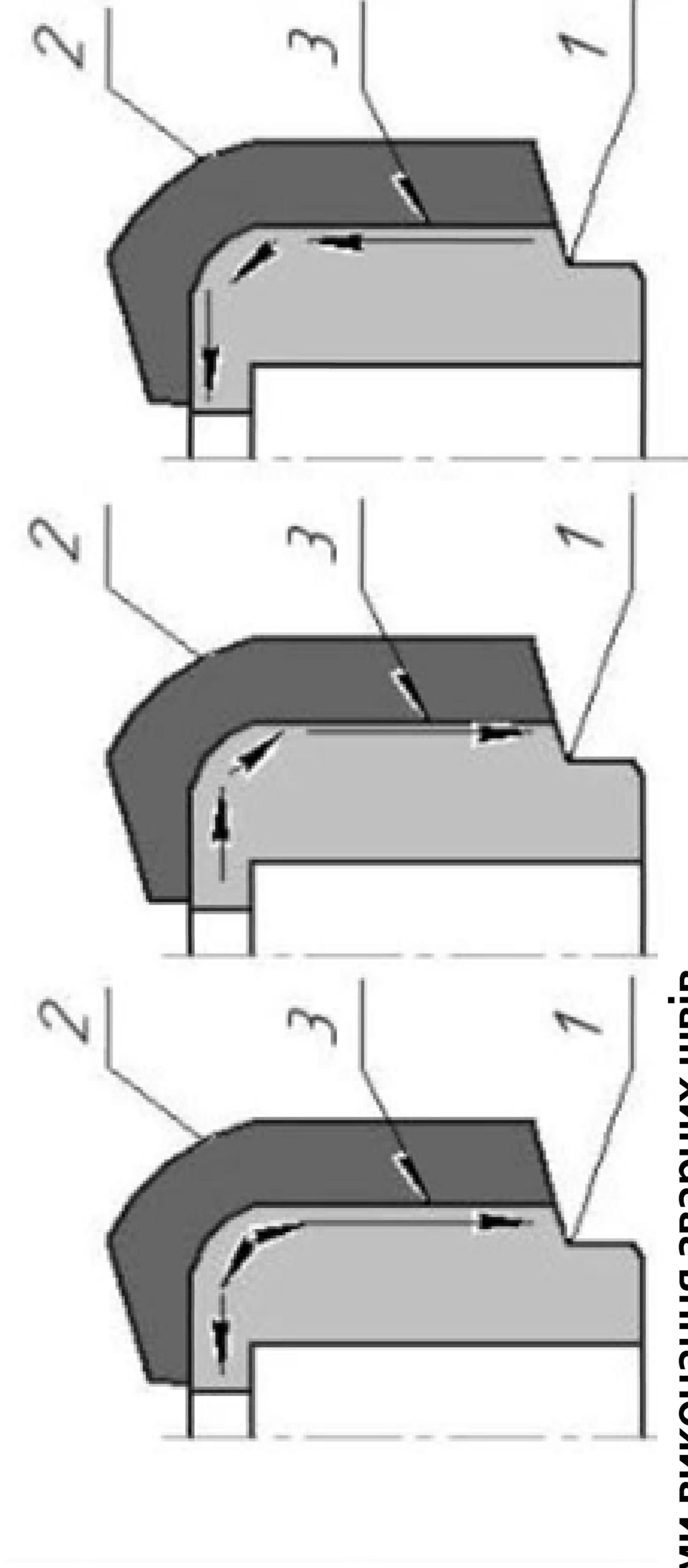
Технологія виготовлення Доліт ріжуче-стираючої дії



МР.ПМЖК-14.00.00.0005			
Технологія виготовлення	Лист	Листа	Масштаб
Доліт ріжуче-стираючої дії	Лист	Листа	1
ІФНТУНГ	Лист	Листа	1
ПМЖК-20-1	Лист	Листа	1
Формат А1	Лист	Листа	1

Схема виконання технологічних досліджень

- Етап 1: дослідження напружень і деформацій при виконанні 1 зварного шва;
- Етап 2: дослідження напружень і деформацій при виконанні двох зварних швів;
- Етап 3: досліджень напружень і деформацій для різних товщин зварних швів.



схеми виконання зварних швів

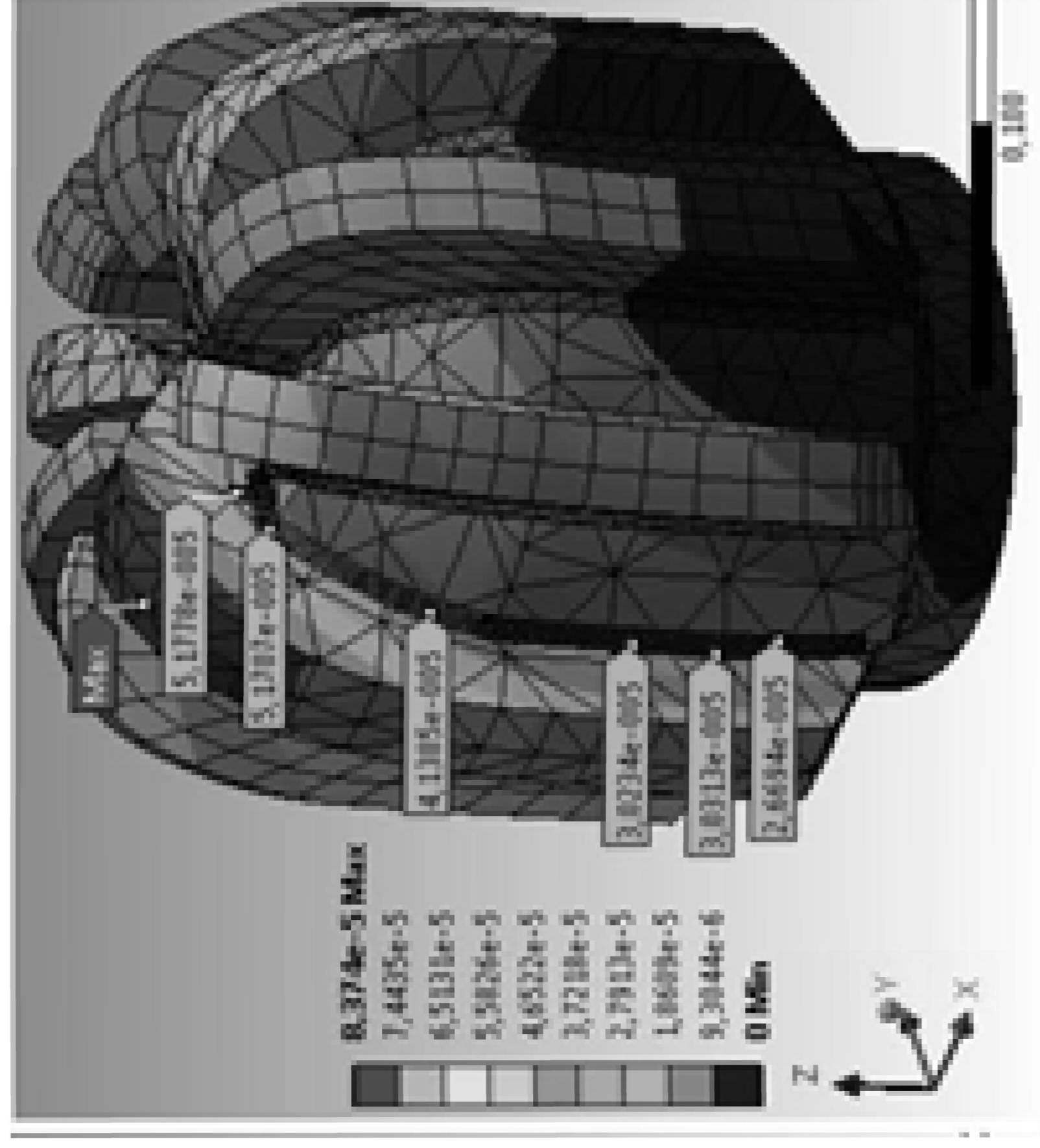
а – зварний шов формують, починаючи із місця спряження циліндричної та еліпсоїдній поверхонь корпусу долота і виконують спочатку по еліпсоїдній поверхні до краю коротшої частини лопаті, а потім – вздовж циліндричної поверхні до краю довшої частини лопаті;

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;

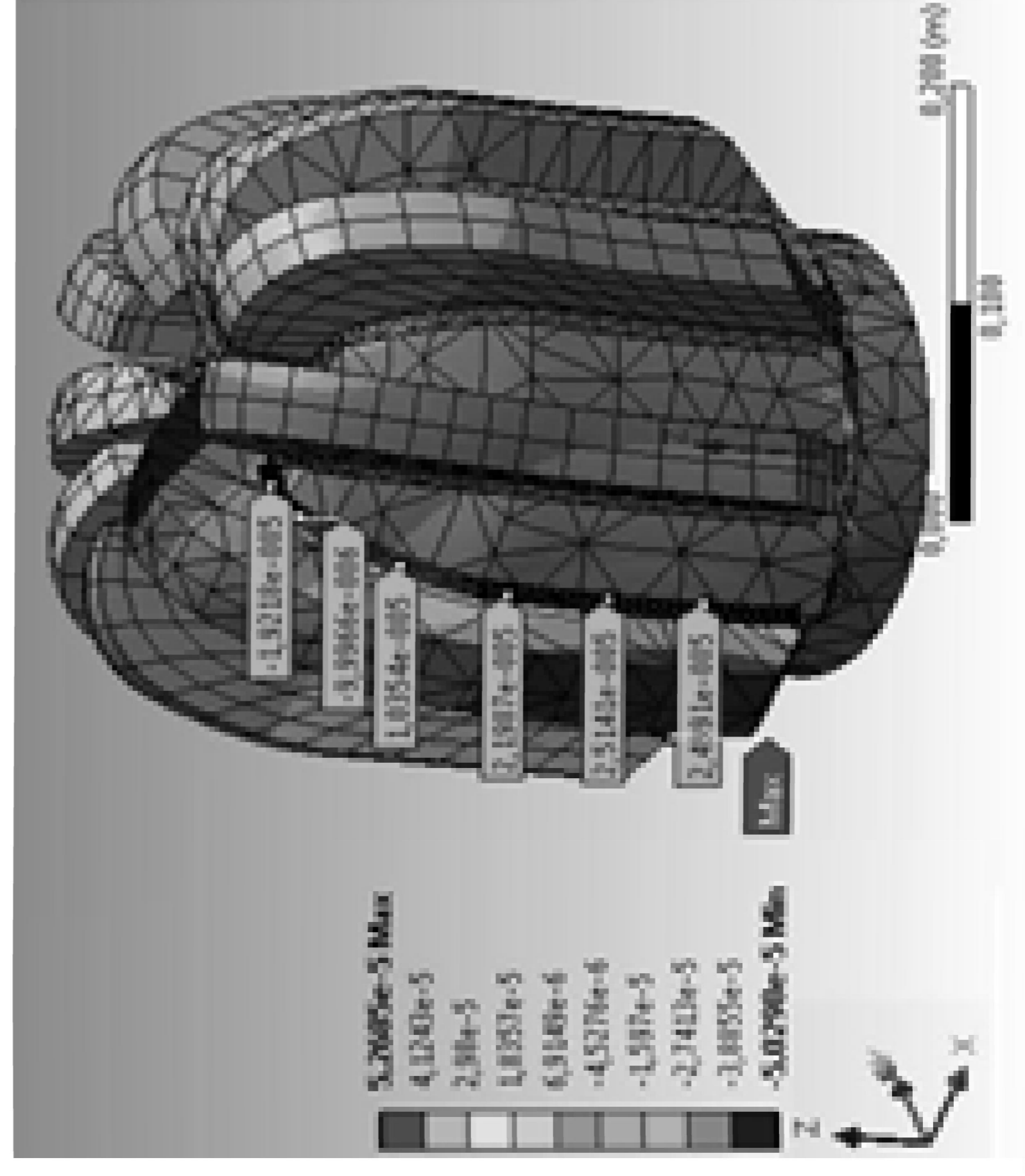
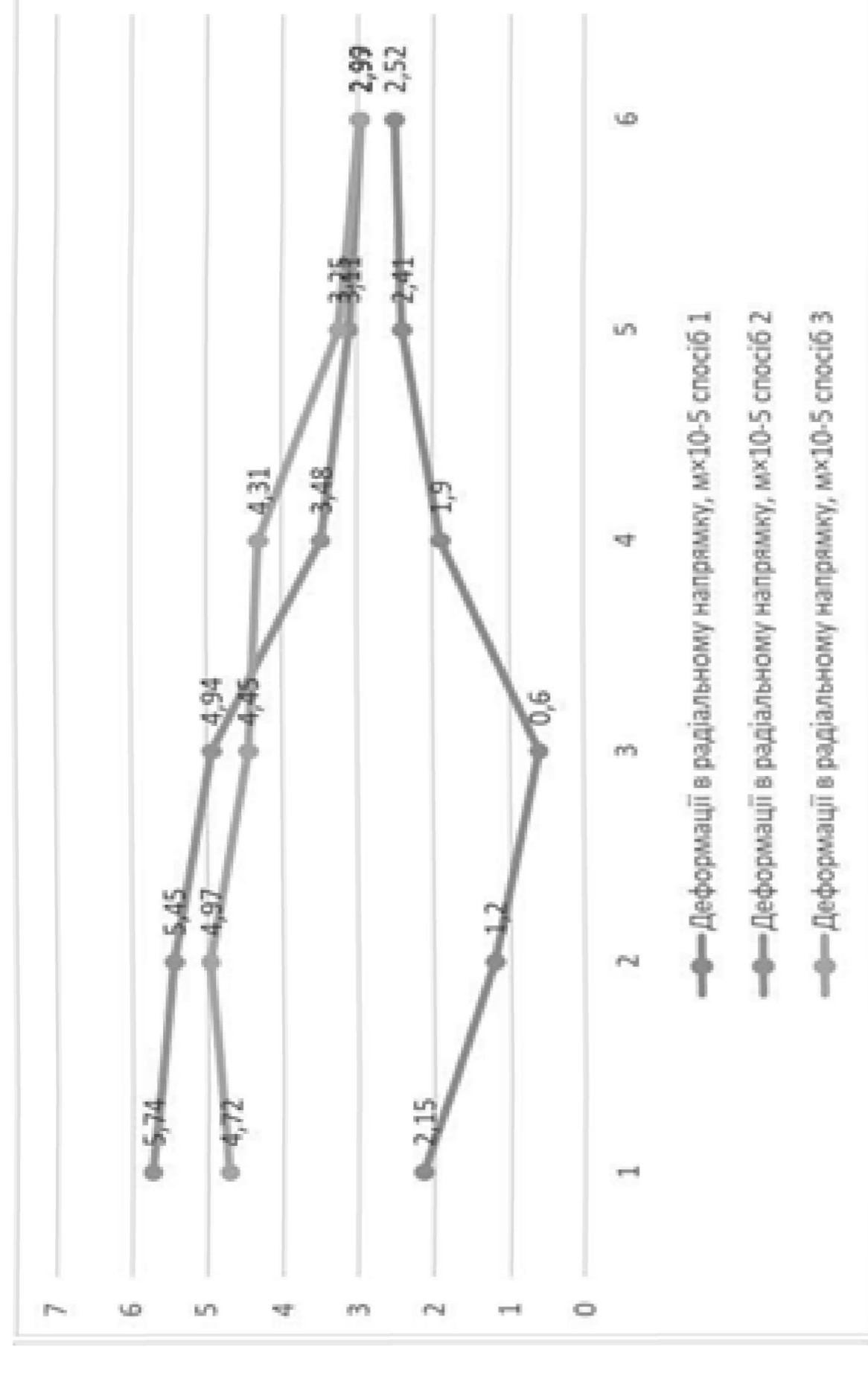
в – зварний шов формують, починаючи з точки спряження довшої частини лопаті із циліндричною поверхнею корпусу долота, а потім по еліптичній поверхні до кінця коротшої частини лопаті.

MP.ПММ-14.000000007		Дата	Листа	Масштаб
Схема виконання досліджень		Лист	Листів	1
№ зварного шва	№ зварного шва	№ зварного шва	№ зварного шва	№ зварного шва
Розроб.	Корект.	Розроб.	Розроб.	Розроб.
Генерал.	Розроб.	Розроб.	Розроб.	Розроб.
Реценз.	Розроб.	Розроб.	Розроб.	Розроб.
Узгод.	Лист	Лист	Лист	Лист
MP.ПММ-20-1		Формат А1		

Розробка 3D-моделі. Результати дослідження (етап 1 і 2)



Радіальні деформації у точках на лопаті після охолодження протягом 30 с для різних схем виконання зварних швів



Напруження у точках на лопаті після охолодження протягом 30 с для різних схем виконання зварних швів

