

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР.ПМК_М - 22.00.00.000 ПЗ

група ПМК_М-23-1

Харук Олег

Любомирович

2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Харук Олег Любомирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.7

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Удосконалення технології виготовлення циліндрових втулок поршневих насосів
(назва роботи)

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

131 – Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

О.Л. Харук

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Роп'як Л.Я., професор кафедри КМВ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор

(посада)

(підпис)

(дата)

Панчук В. Г.

(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

м. Івано-Франківськ — 2024 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень магістр

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« ____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Харуку Олегу Любомировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технології виготовлення циліндрових втулок поршневих насосів

керівник роботи Роп'як Л.Я., професор кафедри КМВ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвердені наказом закладу вищої освіти від «22» листопада 2024 року № 780/7

2. Строки подання студентом роботи 15 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: технічний креслення деталі «циліндрова втулка насосу типу 11 ГРБ»; середовище програм для моделювання із вбудованою функцією симуляції

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз ефективності наявних технологій циліндрових втулок поршневих насосів. 2.

Розрахунок впливу різних параметрів зношування. 3. Аналіз та удосконалення технології виготовлення та гартування сталі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Креслення циліндрової втулки – 1 лист А4. 2. Результати аналізу динамічного розрахунку

– 1 лист А1. 3. Результати аналізу статичного розрахунку – 1 лист А4.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Роп'як Л.Я., професор кафедри КМВ		
2	Роп'як Л.Я., професор кафедри КМВ		
3	Роп'як Л.Я., професор кафедри КМВ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Загальна характеристика	01.04.2024	
2	Опис навчального проекту	01.08.2024	
3	Проектна частина	05.10.2024	
4	Дослідницька частина	18.11.2024	
5	Захист магістерської роботи	18.12.2024	

Студент _____ Харук О.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: Удосконалення технології виготовлення циліндрових втулок поршневих насосів. Дана робота складається зі 52 аркуша. До неї входять 17 рисунки, 7 таблиць. Для розрахунку роботи було використано 15 бібліографічних найменувань.

Об'єкт дослідження – підвищення якості та довговічності циліндрових втулок та технології їх удосконалення.

Предмет дослідження – технологія виготовлення циліндрових втулок.

Мета роботи - удосконалення технології виготовлення циліндрових втулок поршневих насосів.

Завдання роботи. Відповідно до вибраної теми в роботі покладені такі задачі:

- аналіз ефективності;
- оцінка впливу різних параметрів зношування;
- удосконалення технології.

Методи роботи. Для реалізації проекту та виконання поставлених задач, було проведено аналіз ефективності та числове моделювання досліджуваного об'єкту.

Результати роботи. В результаті виконання магістерської роботи було удосконалено технологію виготовлення циліндрових втулок поршневих насосів

Структура роботи. Розділи – 3. Загальний обсяг основної частини – 40 сторінок. Список використаних джерел – 15.

Ключові слова: втулка циліндрова, технологічний процес, шорсткість, зносостійкість, ресурс роботи.

Студент Харук О.Л.

SUMMARY

Master's qualification work on the topic: Improving the technology of manufacturing cylinder bushings for piston pumps. This work consists of 52 pages. It includes 17 figures, 7 tables. The work is based on 15 bibliographic references.

The object of research is to improve the quality and durability of cylindrical bushings and technologies for their improvement.

The subject of research is the technology of manufacturing cylindrical bushings.

Purpose - to improve the technology of manufacturing cylinder bushings for piston pumps.

Tasks of the work. In accordance with the chosen topic, the work has the following tasks:

- analysis of efficiency;
- assessment of the influence of various wear parameters;
- improvement of the technology.

Methods of work. In order to implement the project and fulfil the tasks set, an efficiency analysis and numerical modelling of the object under study were carried out.

Results of work. As a result of the master's thesis, the technology of manufacturing cylindrical bushings for piston pumps was improved.

Structure of the work. Chapters - 3. The total volume of the main part is 40 pages.
List of references - 15.

Keywords: cylindrical bushing, technological process, roughness, wear resistance, service life.

Student Kharuk O.L.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ВИМІРІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ	11
1.1 Поршневий насос. Історія розвитку, будова, принцип роботи та надійність.....	11
1.1.1 Загальні положення	11
1.1.2 Розвиток насособудування.....	12
1.1.3 Будова насосу	13
1.1.4 Розрахунок надійності.....	16
1.2 Загальний аналіз циліндрових втулок поршневого насосу	19
1.2.1 Механізм кріплення та ущільнення циліндрової втулки в корпусі	19
1.2.2 Зношування циліндрових втулок	23
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	27
2.1 Характеристика обраних наукових праць	27
2.1.1 Характеристика №1	27
2.1.2 Характеристика №2	29
2.1.3 Характеристика №3	31
2.2 Матеріали для виготовлення втулок	33
2.3 Характеристика методів виготовлення циліндрових втулок.....	35
3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	38
3.1 Характеристика обраних вхідних даних.....	38
3.1.1 Моделювання	40
3.2 Термоциклічна обробка сталі.....	44

					МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Пояснювальна записка					
<i>Розроб.</i>		<i>Харук О.Л.</i>						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Роп'як Л.Я.</i>						6		
<i>Реценз.</i>								ІФНТУНГ		
<i>Н. Контр.</i>								ПМКм-23-1		
<i>Затверд.</i>		<i>Панчук В.Г.</i>								

3.3	Результати теоретичних досліджень.....	48
	ВИСНОВКИ	50
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	51

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ВИМІРІВ

кгс	Кілограм-сила
БпЛА	Безпілотний літальний апарат
ККД	Коефіцієнт корисної дії
МПа	Мега Паскаль
ГПа	Гектопаскаль
СВЧ	Струм високої частоти
HRC	HardnessRockwellC-scale (твердість матеріалу)
ТЦО	Термоциклічна термообробка

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

ВСТУП

Актуальність теми. Поршневий насос — гідравлічна машина, яка використовується для перекачування рідин, принцип дії якої відомий вже понад дві тисячі років.

Альтернативні до поршневого насоса пристрої, що працюють на основі динамічного, лопатевого, ротаційного та інших принципів дії, виявилися неспроможними відповідати вимогам сучасних технологічних процесів. Їх робочі органи гідравлічної частини піддаються інтенсивному зношуванню, зумовленому властивостями перекачуваної рідини. Промивна рідина, яка застосовується у свердловинах, характеризується абразивним, в'язко-пластичним складом і містить обважнений глинистий розчин із домішками нафти, газів та хімічних реагентів, що значно посилює деградацію компонентів насосного обладнання.

Актуальність даної теми в Україні окреслюється тим, що в часи новітнього розвитку підприємств та розвитку різних промисловостей, в тому ж числі й військової, з'явилася потреба у видобутку більшої кількості сировини. Для цього потрібно, щоб кожна ланка як підприємств, так і окрема деталь в пристроях працювала якомога довше, коштувала дешевше та була ремонтпридатна або самовідновлювальна. Тому, для задоволення зростаючих потреб у нафті та газі необхідно масштабувати обсяги буріння, це в свою чергу вимагає підвищені норми до надійності та ефективності бурового обладнання. Також українські підприємства зазнають руйнувань та пошкоджень через безпілотні літальні апарати (БПЛА) та удари ракетами з боку Російської Федерації. Нещодавно російські ракетні удари зруйнували Дрогобицький долотний завод на Львівщині - підприємство, яке виготовляло обладнання для буріння артезіанських, нафтових і газових свердловин [7]. У контексті воєнних дій, відновлення й

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

розвиток виробництва бурового обладнання стає критично необхідним для забезпечення енергетичної незалежності країни. Знищення українських заводів загострює цю проблему, підкреслюючи необхідність розробки нових підходів і технологій для виготовлення ключових компонентів бурового обладнання в умовах внутрішніх і зовнішніх викликів.

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Поршневий насос. Історія розвитку, будова, принцип роботи та надійність

1.1.1 Загальні положення

Поршневі насоси характеризуються великою різноманітністю конструкцій і широкою сферою застосування. Робота поршневого насоса полягає у послідовному виконанні процесів всмоктування та нагнітання, які відбуваються в циліндрі під дією зворотно-поступального руху робочого органу (поршня або плунжера). Залежно від способу забезпечення руху робочого органу, поршневі насоси поділяють на привідні (оснащені колінчастим валом і шатунним механізмом) та насоси прямої дії. У приводних насосах для перемикання робочого об'єму між всмоктувальним і нагнітальним етапами передбачені два клапани: всмоктувальний і нагнітальний. Під час роботи насоса рідина отримує переважно потенційну енергію, величина якої пропорційна тиску нагнітання.

Нерівномірність подачі рідини, яка виникає через зміну швидкості руху поршня або плунжера з часом, може бути суттєво зменшена зі збільшенням частоти робочих циклів насоса. Повністю усунути нерівномірність можливо за допомогою повітряно-гідравлічного компенсатора.

Поршневі насоси класифікуються за низкою характеристик [1]:

- орієнтація конструкції (горизонтальні або вертикальні);
- тип дії (одинарної чи багатократної);
- кількість циліндрів (одно- або багаточиліндрові);
- швидкість роботи;
- тип рідини, що перекачується;
- інші параметри.

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

У порівнянні з відцентровими насосами, поршневі насоси мають більш складну конструкцію, більшу масу і розміри на одиницю виконуваної роботи, а також характеризуються низькою швидкістю роботи. Водночас вони відзначаються високим коефіцієнтом корисної дії (ККД) та незалежністю подачі рідини від напору. Механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) двопоршневих бурових насосів становить 0,82–0,83, а об'ємний ККД досягає 0,9. Для трипоршневих бурових насосів механічний ККД складає 0,9, тоді як об'ємний ККД при використанні підпірного насоса знаходиться в межах 0,97–0,99. [5]. Це дозволяє використовувати їх як дозуючі насоси.

Поршневі насоси здатні створювати тиск понад 100 МПа (1000 кгс/см²) при нагнітанні рідини, що робить їх придатними для роботи в умовах високого навантаження.

1.1.2 Розвиток насособудування

Стрімкий розвиток поршневих насосів спостерігався наприкінці XVIII століття, коли у їх виробництві вперше почали використовувати металеві компоненти та застосовувати приводи на основі парових машин. Широкого поширення, у середині XIX століття, набули парові поршневі насоси прямої дії. В процесі еволюції ці насоси зазнали значних конструктивних і технологічних вдосконалень, що сприяло їх масовому використанню, зокрема у сфері обертального буріння нафтових і газових свердловин.

Технічний рівень насособудування характеризується основними параметрами поршневих бурових насосів із двома циліндрами двосторонньої дії. Подальше збільшення потужності таких насосів ускладнюється надмірним зростанням їх ваги та габаритів, що обмежує можливості їх транспортування як у межах родовища, так і за його межами.

Щорічне збільшення максимальної потужності виготовлених насосів у середньому на 4% пояснюється не лише підвищенням тиску нагнітання, зумовленим збільшенням глибини залягання нових родовищ, але й прагненням

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

застосовувати насоси із суттєвим запасом за тиском і потужністю. Крім того, сучасні бурові установки зазвичай оснащуються одним основним насосом у поєднанні з одним резервним, тоді як раніше використовували два основних насоси з одним або двома резервними.

Одночасна робота двох основних насосів на половинній потужності вимагає більшої кількості насосів на буровій платформі, що ускладнює конструкцію установки та подвоює витрати на змінні деталі. Однак застосування двох потужних насосів дає змогу експлуатувати один із них, тримаючи другий у резерві. У разі необхідності працюючий насос можна негайно замінити відремонтованим резервним насосом-дублером, використовуючи нагнітальний маніфольд із зворотними клапанами.

Тривалість ремонту насосів, яка значно коротша за термін служби змінних деталей, зазвичай не впливає на загальний баланс часу буріння, оскільки заміну зношених деталей резервного насоса виконують без перерв у роботі основного насоса. Зважаючи на переривчастий характер технологічного процесу буріння, надійність бурового насоса доцільно оцінювати не за сукупною довговічністю роботи з урахуванням зупинок на ремонт, а за безвідмовністю протягом часу служби долота на вибої свердловини, коли вихід насоса з ладу може призвести до аварії через припинення промивки.

1.1.3 Будова насосу

Поршневий насос є однією з найважливіших гідравлічних машин, що використовується для перекачування рідин у різних промислових галузях. Його принцип роботи ґрунтується на зворотно-поступальному русі поршня, що генерує тиск у робочій камері та сприяє переміщенню рідини через систему клапанів. Конструкція поршневих насосів залежить від умов експлуатації, однак основні елементи залишаються спільними для більшості моделей.

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

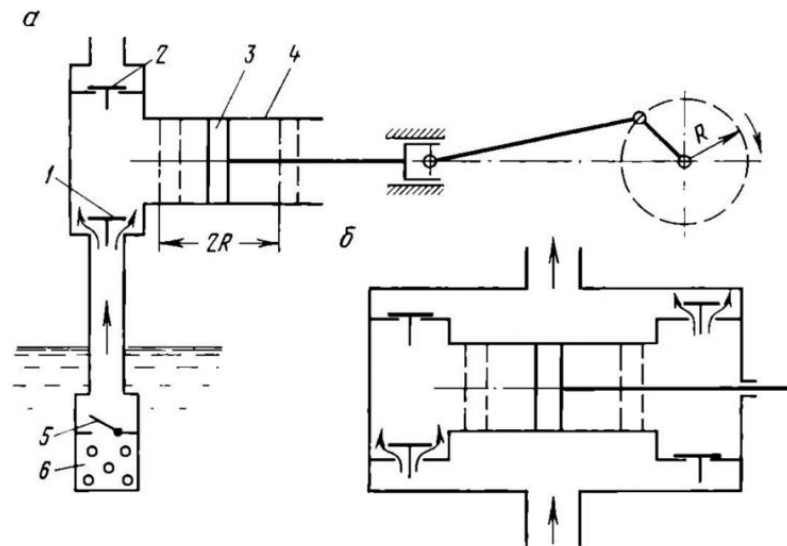


Рисунок 1.1 – Принципові схеми: а – поршневий насос простої дії; б – гідравлічна частина поршневого насоса подвійної дії [2]

Основними елементами поршневих бурових насосів (рис. 1.1 а) є циліндр (4) та поршень (3), що виконує зворотно-поступальний рух, змінюючи об'єм робочої камери. Переміщення рідини через робочу камеру регулюється всмоктувальним клапаном (1) та нагнітальним клапаном (2). На всмоктувальній лінії встановлено приймальну сітку (6), яка запобігає проникненню сторонніх предметів у насос. Для забезпечення заповнення всмоктувальної лінії на її кінці встановлюють зворотний клапан (5). Поршневі насоси, в яких рідина всмоктується та нагнітається двічі за один оберт кривошипного вала, відносяться до насосів подвійної дії (рис. 1.2 б). [2].

Конструкція насоса залежить від його призначення, однак основні елементи є спільними для більшості моделей, та включає такі компоненти [2,3,4]:

Корпус насоса

Корпус виконує захисну та несучу функції, забезпечуючи цілісність конструкції й надійність роботи при високих тисках. Для виготовлення корпусу використовуються високоміцні матеріали, зокрема сталь або чавун, які забезпечують довговічність конструкції навіть в умовах роботи з агресивними та абразивними середовищами.

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

Поршень

Поршень є основним робочим елементом насоса, що виконує зворотно-поступальні рухи у втулці, переміщуючи рідину через клапани. Для підвищення зносостійкості поршень виготовляється зі сталей із хромовими покриттями, які забезпечують стійкість до механічного впливу абразивних частинок у робочій рідині.

Циліндрична втулка

Втулка слугує направляючим елементом для поршня. Основною її вимогою є висока зносостійкість і здатність витримувати механічні навантаження. Для роботи з абразивними рідинами втулки часто виготовляються біметалевими, де внутрішній шар виконаний із чавуну марки ЧХ28Д2, а зовнішній — зі сталі 60. Додатково на втулки наносяться зносостійкі покриття, такі як хромові чи боридні, що підвищують їх довговічність.

Клапани

Клапани забезпечують односторонній рух рідини. Всмоктувальні клапани відкриваються під час зворотного ходу поршня, а нагнітальні — під час прямого ходу. Клапани виготовляються з матеріалів, стійких до корозії та механічного зносу. Залежно від умов роботи, використовуються сферичні, конусні або плоскі конструкції клапанів.

Привідний механізм

Привід передає механічну енергію від двигуна до поршня. У конструкціях насосів часто застосовуються кривошипно-шатунні механізми або гідроприводи. Вибір типу приводу залежить від необхідного робочого тиску та умов експлуатації.

Ущільнювальні елементи

Системи ущільнення запобігають витоку рідини між поршнем і втулкою. Для виготовлення ущільнень використовуються матеріали, що мають високу стійкість до зносу та впливу агресивних середовищ. Це можуть бути гумові ущільнення або полімери спеціального призначення.

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

Система охолодження та змащення

Для зменшення тертя між рухомими деталями і продовження терміну їх служби сучасні насоси обладнуються системами охолодження і змащення. Вони забезпечують контроль температури в зоні контакту поршня і втулки, що є критичним при роботі на високих швидкостях.

Додаткові компоненти

До додаткових елементів належать:

- манометри та датчики тиску для моніторингу робочих параметрів;
- зворотні клапани для стабілізації подачі рідини;
- автоматизовані системи управління, які забезпечують дистанційне керування насосом.

1.1.4 Розрахунок надійності

Однією із найбільш відповідальних та складних технічних завдань є досягнення високого рівня надійності. Підхід реалізується за допомогою таких методів, як резервування, вибір високонадійних компонентів, оптимізації режимів експлуатації, розробки ефективних конструктивних схем, прогнозування потенційних відмов та організації профілактичного ремонту системи.

Один із найефективніших методів підвищення надійності — це резервування, яке передбачає можливість швидкої заміни відмовлених компонентів у межах мінімального часу.

Такий підхід дозволяє забезпечити безперервність роботи системи. Формула (1.1) [13], за допомогою якої розраховується надійність насосної установки, яка визначається як ймовірність безперебійного функціонування протягом заданого часового інтервалу:

$$P_r = \sum_{i=0}^m C_{k+m}^{k+i} P^{k+i} p^{m-i} = \frac{(k+m)!}{(k+i)!(m-i)!} P^{k+i} p^{m-i} \quad (1.1)$$

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

де:

- C_{k+m}^{k+i} — кількість комбінацій із $(k+m)$ елементів по $(k+i)$;
- p — ймовірність відмови;
- P — ймовірність безвідмовної роботи насоса;
- k — кількість основних насосів у системі;
- m — кількість резервних насосів, здатних замінити основні у випадку їх відмови за незначний час.

Відмовою системи вважається ситуація, коли кількість працюючих насосів стає меншою за критичну величину k , необхідну для забезпечення її функціональності. Припустимо, що кількість основних насосів у системі $k=1$, кількість резервних насосів $m=1$, а ймовірність безперебійного функціонування $P=0,8$. Використовуючи зазначену формулу, можна обчислити, що ймовірність безперебійного функціонування резервованої системи дорівнює $0,96$, тобто, що ефективний режим буріння може підтримуватися навіть за умови функціонування лише одного насоса.

Багаторічні дослідження свідчать, що витрати змінних компонентів гідравлічної частини насосів (1.2) [13], які працюють у середовищі абразивного глинистого розчину, мають стабільні співвідношення. Ці витрати можна описати за допомогою формули:

$$y = a_i e^{bx} \quad (1.2)$$

де:

- a_i — коефіцієнт, що характеризує витрати для кожної деталі;
- b — коефіцієнт, що відображає темп зношування;

значення коефіцієнтів для деталей насосів визначено як:

- $a_1 = 80\ 000$;
- $a_2 = 55\ 000$;
- $a_3 = 35\ 000$;
- $a_4 = 33\ 000$;
- $b = 0,124$.

					МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

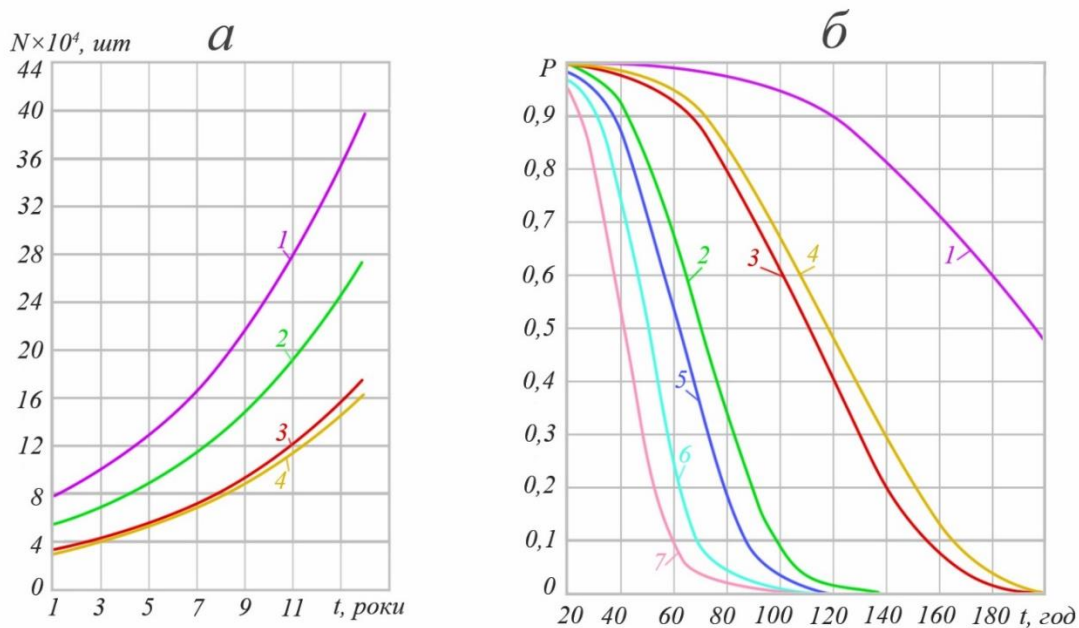


Рисунок 1.2 – Статистичні дані зношування змінних деталей різних видів (а - співвідношення кількості витрачених деталей за їх видами; б – криві ймовірності безвідмовної роботи залежно від напрацювання: 1- клапана; 2 - поршня; 3 - штока поршня; 4 - втулки циліндра; 5 - циліндра двосторонньої дії; 6 - насоса з двома циліндрами двосторонньої дії; 7 - двох насосів у послідовному з'єднанні) [14]

Зазначені дані були отримані для насосів із двома циліндрами двосторонньої дії, які включають вісім клапанів, два поршні, два поршневі штоки та дві циліндрові втулки. На основі цих даних можна визначити показники витрат поршнів і інших компонентів у вигляді безрозмірних коефіцієнтів, що мають стабільні значення в межах досліджуваного інтервалу експлуатації [13].

$$\frac{a_2/2}{a_1/8} = 2,75 \quad \frac{a_2/2}{a_2/2} = 1,00 \quad \frac{a_2/2}{a_3/2} = 1,57 \quad \frac{a_2/2}{a_4/2} = 1,67$$

Такий підхід дозволяє точно оцінити експлуатаційні характеристики насосів, оптимізувати витрати на їх обслуговування та підвищити загальну ефективність роботи насосних систем.

1.2 Загальний аналіз циліндрових втулок поршневого насосу

Циліндрові втулки є критичним елементом поршневого насоса, що забезпечує герметичність та правильне функціонування поршня під час роботи. Вони піддаються значним механічним і термічним навантаженням, а також впливу агресивних середовищ, таких як промивні рідини з абразивними частинками. Тому їх конструкція, матеріали та технологія виготовлення є важливою у забезпеченні надійності та довговічності насоса.

Аналіз умов експлуатації

Під час роботи поршневого насоса циліндрові втулки зазнають таких впливів:

- абразивний знос: рідина, що перекачується, може містити абразивні частинки, які викликають зношення внутрішньої поверхні втулки;
- високий тиск: втулки повинні витримувати тиск до 200 МПа, що вимагає високої механічної міцності матеріалів;
- термічні коливання: робота в умовах змінного температурного режиму призводить до термічної деформації та зниження експлуатаційного ресурсу;
- корозійна дія: хімічні елементи в рідині сприяють корозійному руйнуванню матеріалу втулки.

1.2.1 Механізм кріплення та ущільнення циліндрової втулки в корпусі

До механізмів, що використовуються для закріплення та герметизації циліндрової втулки в корпусі гідравлічного блоку, висуваються такі основні вимоги:

- циліндрова втулка повинна бути надійно закріплена в корпусі, виключаючи можливість її переміщення;

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

- ущільнювальна система повинна забезпечувати герметичне розділення насосних камер — штокової та безштокової;
- процес вилучення поршня з втулки не повинен впливати на надійність її закріплення;
- напруження стиску в матеріалі ущільнювальних кілець повинно бути мінімальним, але достатнім для створення поверхневого тиску на контакті "гумовий ущільнювач — метал", що запобігає витоку рідини між насосними камерами;
- ущільнювальні кільця, навіть у разі часткового зношування, повинні залишатися працездатними завдяки регулюванню механізму та компенсації зносу;
- напруження в деталях насоса, які взаємодіють з ущільнювальними елементами, повинно бути мінімальним, щоб запобігти деформації та під впливом циклічних навантажень зменшити ймовірність втомного руйнування.

На практиці зустрічаються насоси з механізмами закріплення та герметизації циліндрових втулок, які повністю або частково відповідають цим вимогам. Проте лише ті механізми, які повністю забезпечують виконання зазначених вимог, відповідають сучасному рівню технічного розвитку.

Механізм комбінованого закріплення та герметизації циліндрової втулки (б) (рис. 1.3, а) включає такі елементи: коронку (5), ущільнювальне кільце (4), кришку циліндра (3), ущільнювальні кільця (7) та проміжне металеве кільце (9), встановлене навпроти контрольного отвору (10) в корпусі. Закріплення та герметизація втулки досягається затягуванням гайок (2), які через шпильки (1) притягують фланець кришки циліндра до корпусу. При цьому втулка буртом спирається на гумові ущільнювальні кільця (7).

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

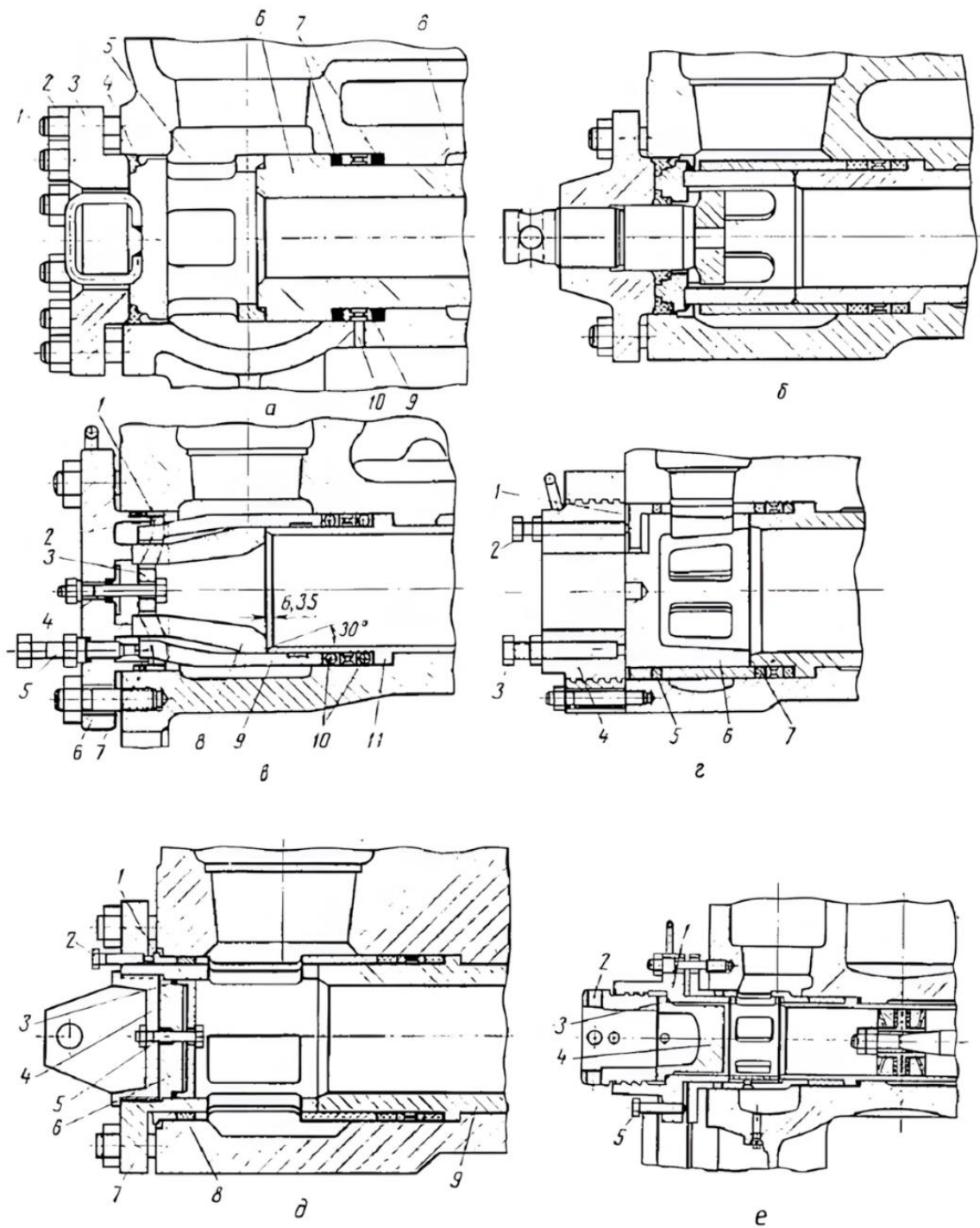


Рисунок 1.3 – Механізми кріплення і ущільнення циліндрової втулки
 (а - регульований суміщений; б - регульований роздільний; в -
 регульований роздільний з незалежним підтягуванням ущільнення циліндрової
 кришки: г- регульований роздільний з суміщеним підтягуванням ущільнення
 циліндрової кришки; д, е - регульований роздільний із додатковою кришкою
 для витягання поршня без демонтажу циліндрової втулки) [15]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ

Арк.

21

У процесі роботи насоса втулка може незначно зміщуватися вздовж осі в межах пружної деформації деталей, які забезпечують її закріплення. Таке зміщення обумовлено поперемінною дією осьових сил у насосних камерах. Втулка впирається з одного боку в коронку, а з іншого — в ущільнювальні кільця, попередньо стиснуті механізмом у замкнутій порожнині. Утворений при стисканні ущільнювальних кілець тиск створюють на поверхні гума-метал перевищує тиск робочої рідини, що забезпечує герметичне розділення двох насосних камер циліндра двосторонньої дії. Механізм із розбірною телескопічною коронкою (рис. 1.3 г, в) передбачає наявність внутрішньої (8) та зовнішньої (9) частин, між якими встановлюються ущільнювальні кільця (10). Напруження стиснення в матеріалі ущільнювачів регулюється трьома або чотирма гвинтами (5). Центральний гвинт забезпечує натяг ущільнювальних кілець (7) циліндрової кришки (6) через натискний диск, ступиця (3) та обід (1) якого з'єднуються разом за допомогою радіальних ребер – спицями (2), що проходять через канавки на торцях коронки. У спрощеній конструкції механізму (рис. 1.3, г) закріплення втулки здійснюється за допомогою гвинтового затвора (4) та гвинтів (3), що взаємодіють із внутрішньою коронкою (6). Регулювання напруження стискання ущільнювальних кілець (5, 7) виконується через гвинти (2) та натискний диск (1). Усі різьбові з'єднання механізму розташовані поза зоною контакту з промивним розчином, що запобігає корозії.

У більшості механізмів огляд стану втулки, поршня або робочої поверхні циліндра потребує демонтажу втулки, що ускладнює експлуатацію. Зазначимо, що в одній втулці під час роботи з промивними розчинами на основі нафти може експлуатуватися від трьох до чотирьох поршнів, виготовлених із гуми на основі натурального каучуку. У середньому через одну втулку проходить 1,67 поршня.

Механізми, що дозволяють замінювати поршень і оглядати камеру насоса без порушення кріплення втулки, значно підвищують зручність обслуговування. У протилежному випадку неможливість оперативної заміни поршня може

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

привести до використання насоса з пошкодженим поршнем, що спричиняє прискорене зношення втулки та збільшення витрат на ремонт.

У конструкції механізму жорсткого закріплення з регульованим ущільненням (рис. 1.3, е) використовується гвинтовий затвор (2) і додаткова поршнева кришка (4) з ущільнювальним кільцем (3). Фланець (1) циліндрової кришки служить для закріплення втулки (8), а гвинти (5) забезпечують регулювання стискання ущільнювальних кілець (7).

Інша конструкція (рис. 1.3, д) включає коронку з фланцем (7) для жорсткого закріплення втулки (9) та механізм регулювання стискання ущільнювальних кілець (8) регулюється гвинтами (2) через стакан (1). Центральний болт (5) дозволяє натягувати ущільнювальні кільця (3) додатковою поршневою кришкою (6), обладнаної гвинтовим затвором (4). Завдяки малій масі затвора та кришки забезпечується легкий доступ до циліндра для огляду або заміни поршня без порушення закріплення та герметизації втулки.

1.2.2 Зношування циліндрових втулок

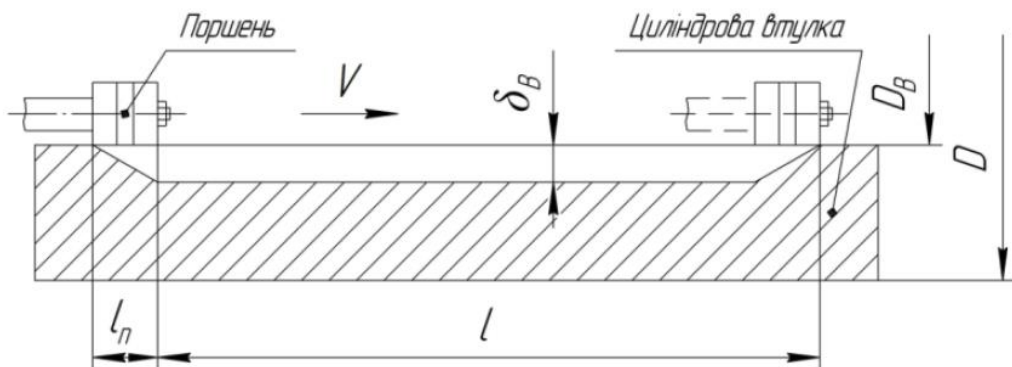


Рисунок 1.4 – Зношування циліндрової втулки бурового насоса двосторонньої дії [4]

Довжина зони зношування циліндрової втулки визначається як сума довжини робочого ходу насоса l та довжини гумово-металевого ущільнювача l_n .

Проаналізувавши особливості зношення циліндрових втулок бурових насосів, здійснено порівняльну таблицю (табл. 1.1).

					МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

Таблиця 1.1 - Основні типи зношення циліндрових втулок бурових насосів [3]

Типи зношення	Основні ознаки зношення	Головні причини зношення	Умови, що сприяють інтенсивності зношення
Абразивне	Подряпини, гострі ризики на поверхні тертя	Взаємодія абразивних частинок бурового розчину, що потрапляють між втулкою і поршнем	Робота насосів з високоабразивними розчинами
Гідроабразивне	Гладкі сліди або локальні зони вимивання	Дія потоку або змащувальної плівки бурового розчину, насиченого абразивними частками	Швидкість руху бурового розчину перевищує 10 м/с
Ударноабразивне	Нерівні ривки, виступи, задирки	Ударні дії, що виникають при заклинюванні абразивних частинок між контактуючими поверхнями	Робота насосів з середніми та високоабразивними розчинами. Середні швидкості бурового розчину (до 10 м/с)
Корозійномеханічне й окиснювальне	Сліди корозійних уражень на робочій поверхні	Вплив хімічно агресивного середовища, що перекачується насосами, та мастильних матеріалів	Робота насосів із технічною водою або мінералізованими розчинами, а також при тривалих зупинках насосів
Механічне, втомне	Деформація, тріщини, викривлення	Змінні навантаження високої інтенсивності або дія пульсуючих сил	Експлуатація насосів за умов середнього та високого тиску

Зношені циліндрові втулки, можуть використовуватися як заготовки для відновлення, якщо їх діаметр зменшився в межах 0,5–0,6 мм. Для циліндрових втулок із діаметром від 130 мм і більше можливе повторне використання шляхом переточування, що дозволяє адаптувати їх до типорозміру з меншим діаметром.

Групи зношення та явища, які визначають їхні характеристики:

1. механічне зношення:

- абразивне - проявляється різанням чи дряпанням поверхні з утворенням стружки та передформуванням поверхневих шарів через дію абразивів або твердих часток;
- втомне - спричинене викривлюванням поверхні під дією контактних напружень;
- диспергування - виникає через втомне руйнування контактуючих поверхонь при повторно-пластичному деформуванні;
- кавітаційно-ерозійне - полягає у відриві зерен металу через гідравлічні удари, викликані кавітацією рідини;

2. молекулярно-механічне зношення:

- зумовлене молекулярним зчепленням поверхонь металів, яке спричинює викидання частинок матеріалу;

3. корозійно-механічне зношення:

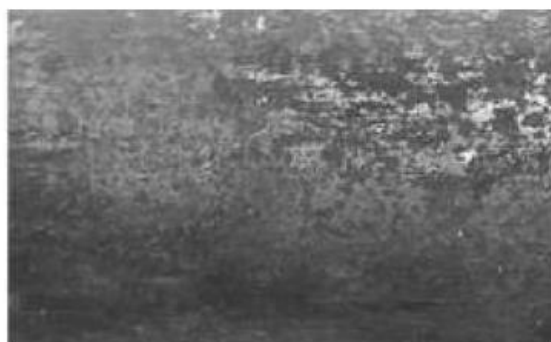
- окиснення - утворення оксидних плівок через вплив кисню на поверхню металу;
- корозія - формування продуктів хімічної взаємодії металу з агресивними речовинами середовища, що супроводжується їхнім виділенням.

Аналіз несправних циліндрових втулок показав, що вони зазнають корозійно-механічного та гідроабразивного зношення. У випадку циліндрових втулок бурового насоса механізм зношення є більш складним: крім корозійно-механічного та гідроабразивного, також спостерігається кавітаційне зношення, а реверсивне тертя поршня та ущільнювальних манжет об поверхню втулки додає додаткових навантажень. Кавітаційне зношення проявляється під час зворотно-

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

поступального руху поршня, що підтверджується наявністю піттингів, каверн та ерозійних ушкоджень на поверхні втулки в зоні її контакту з поршнем. Часто трапляються ситуації, коли відпрацьований поршень неможливо відокремити від втулки. Дослідження деталей, виготовлених за різними технологіями поверхневого зміцнення, засвідчили, що об'ємно гартовані матеріали мають підвищену схильність до корозійно-механічного крихкого руйнування.

Наглядно типи зношення циліндрової втулки бурового насосу проілюстровано на поданому нижче рисунку (рис. 1.5).



1



2



3



4

Рисунок 1.5 – Типи зношення циліндричних втулок бурових насосів (1 – абразивно-втомне; 2 – абразивне; 3 – гідроабразивне; 4 – корозійно-механічне, ускладнене процесами кавітаційного зношення) [3]

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика обраних наукових праць

2.1.1 Характеристика №1

Дослідження В.В. Остаповича присвячене підвищенню довговічності змінних деталей поршневих насосів двосторонньої дії. У роботі акцентується увага на причинах зношування, методах його зниження та технологіях зміцнення деталей, таких як циліндрові втулки і штоки поршнів, які працюють у важких умовах під впливом абразивного середовища.

Метою роботи є дослідження зношування втулок і штоків, а також розробка технологій зміцнення, які б забезпечили підвищення зносостійкості та довговічності.

Основні завдання:

- визначення зон зношування (штоків та втулок поршня);
- розробка конструкцій електрохімічних комірок для здійснення процесу хромування в умовах проточного електроліту;
- вивчення впливу хромових і боридних покриттів на експлуатаційні характеристики деталей.

Основні проблеми

У дослідженні визначено, що основними факторами, які впливають на швидке зношування деталей, є:

- абразивне зношування через наявність частинок гірських порід у промивній рідині;
- корозія та вплив агресивних хімічних речовин у робочому середовищі;

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

- термічна деформація через високі температури під час роботи насоса;
- циклічні механічні навантаження, які викликають втомне руйнування поверхонь.

Технології зміцнення

Дослідження акцентує увагу на трьох основних методах зміцнення:

1. Процес хромування в умовах проточного електроліту. Метод передбачає нанесення рівномірного покриття з високою мікротвердістю і зносостійкістю. Переваги:

- турбулентний потік електроліту забезпечує рівномірність шару і зменшення шорсткості поверхні;
- хромування дозволяє досягти мікротвердості до 12 ГПа, що значно перевищує показники інших методів;
- метод забезпечує швидке відновлення зношених деталей, таких як втулки та штоки.

2. Боридування:

- застосовується для створення зміцнюючого шару, що стійкий до високих температур і абразивного зносу;
- боридні покриття характеризуються більшою мікротвердістю порівняно з традиційними хромовими, однак поступаються їм за зносостійкістю при роботі у парах тертя метал-гумовий поршень.

3. СВЧ-гартування:

- використовується для локального підвищення твердості поверхонь циліндрових втулок та штоків до HRC 60–62;
- метод забезпечує глибину зміцнення 3–6 мм і використовується для виготовлення нових деталей.

Результати дослідження

У роботі проведено численні експериментальні випробування, що дозволили встановити наступне:

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

- хромові покриття, нанесені з використанням проточного електроліту, демонструють найвищу зносостійкість, перевищуючи боридні на 20–30%;
- мікротвердість покриттів: хромові покриття досягли 12 ГПа, що забезпечило їхню стійкість до деформацій і тертя;
- шорсткість поверхні після хромування була значно нижчою, ніж при використанні інших методів, що сприяє кращій опірності корозії

Висновки

Результати дослідження підтвердили, що хромування в умовах проточного електроліту суттєво підвищує довговічність деталей поршневих насосів. Ця технологія є перспективною для виробництва нових деталей та для відновлення зношених.

2.1.2 Характеристика №2

Дослідження групи авторів під керівництвом І.Ф. Концура присвячено проблемам зношування циліндропоршневих пар бурових насосів. У роботі представлено огляд механізмів руйнування, запропоновано нові підходи до виготовлення біметалевих втулок і розглянуто способи підвищення довговічності за рахунок конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів.

Основні проблеми роботи циліндропоршневих пар

Автори дослідження акцентують увагу на таких основних механізмах зношування:

- абразивне зношування - частинки породи в промивній рідині викликають значний знос втулок. Зношування відбувається двома способами: абразивним прошарком (контакт між твердими частинками та втулкою) та абразивним струменем (вплив частинок, перенесених рідиною під високим тиском). Найбільш небезпечним є закріплення твердих частинок у гумових манжетах поршня, які взаємодіють із втулкою як різці;

					MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

- втомне руйнування - циклічні напруження у гумових манжетах спричиняють їхнє поступове руйнування, що підсилюється термохімічними процесами;
- термічна деформація - коливання температур під час роботи призводять до зміни геометрії втулок, що погіршує їхню герметичність та довговічність.

Методи виготовлення та зміцнення втулок

Дослідження розглядає кілька способів виготовлення біметалевих втулок для підвищення їх зносостійкості:

- виготовлення біметалевих втулок - зовнішній шар втулки виготовляється зі сталі, а внутрішній — із легованого чавуну (ЧХ28Д2).

Використовується метод запресування деталей із гарантованим натягом

$P = \pi \cdot d \cdot l \cdot q \cdot f$ (де P - зусилля запресування; d - номінальний діаметр; l - довжина спряження; q - контактний тиск; f - коефіцієнт тертя);

- конструктивні методи - запропоновано оптимальний діаметральний зазор між втулкою і поршнем у межах 0,15–0,2 мм для зменшення деформації гумових манжет;

- зміцнення поверхонь втулок – боридування (покрощує зносостійкість, але є чутливим до дії абразиву), електрошлакове переплавлення (забезпечує рівномірну структуру матеріалу) та СВЧ-гартування (підвищує твердість внутрішніх поверхонь до HRC 60–64, що забезпечує їхню довговічність).

Автори дослідження встановили, що:

- використання біметалевих втулок із запресуванням деталей забезпечує високу точність центрування і рівномірний розподіл навантажень;
- СВЧ-гартування та боридування значно підвищують опірність втулок до абразивного зношування, але потребують додаткових технологічних налаштувань;

					MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

- ефективне очищення промивальної рідини від твердих частинок (гідроциклонами) значно знижує швидкість зношування.

Висновки

Дослідження встановило, що підвищення ефективності циліндропоршневих пар можливе завдяки оптимізації їх конструкції та застосуванню сучасних методів зміцнення. Використання біметалевих втулок із гарантованим натягом, термічного гартування та боридування забезпечує зниження витрат на обслуговування бурових насосів і збільшення їхнього ресурсу. Дослідження також підкреслює важливість врахування експлуатаційних факторів, таких як очищення промивної рідини та регулювання частоти ходів поршня, для зниження інтенсивності зношування деталей. Ці результати мають важливе значення для впровадження в промислові умови.

2.1.3 Характеристика №3

Патент на корисну модель пропонує інноваційний підхід до виготовлення циліндрових втулок поршневих насосів, акцентуючи увагу на вдосконаленні технологічного процесу. Основна мета запропонованої розробки — підвищення довговічності та зносостійкості втулок, що забезпечить ефективну роботу насосів навіть у складних експлуатаційних умовах. Наголошується на проблемах, пов'язаних із нерівномірним розподілом навантаження в зонах спряження деталей, що знижує ресурс втулок, і пропонуються конкретні технічні рішення для їх усунення.

Основні технічні рішення

У патенті описано кілька ключових нововведень, спрямованих на оптимізацію виготовлення циліндрових втулок:

1. застосування натягу в зоні спряження деталей:
 - внутрішній шар втулки виготовляється з чавуну ЧХ28Д2, який забезпечує високу зносостійкість;

					MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

- зовнішній корпус виготовляється зі сталі 60, що забезпечує міцність конструкції;

- натяг між внутрішньою і зовнішньою деталями досягається за рахунок нагрівання зовнішньої втулки, що дозволяє уникнути механічних напружень під час монтажу.

2. Термообробка внутрішнього шару:

- термічне гартування забезпечує рівномірність мікроструктури та підвищує твердість до оптимального рівня HRC 60–62;

- це рішення дозволяє знизити ризик мікротріщин, які виникають під час роботи в умовах високого тиску.

3. Підвищення точності спряження:

- впровадження нових методів обробки, таких як хонінгування, забезпечує точне прилягання втулки до поршня;

- зазор між втулкою і поршнем оптимізується в межах 0,15–0,2 мм для зменшення тертя та забезпечення герметичності.

Переваги розробки

Автори патенту зазначають, що вдосконалення технології виготовлення втулок забезпечує:

- рівномірний розподіл навантаження на внутрішню поверхню втулки;

- збільшення довговічності деталей через зменшення інтенсивності зношування;

- економічність процесу завдяки зменшенню витрат на матеріали та термообробку.

Практичні аспекти впровадження

Запропоновані технічні рішення розроблені для впровадження в промислових умовах із мінімальною адаптацією до чинних технологічних процесів. У патенті підкреслюється можливість їхнього застосування для

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

виготовлення втулок для насосів як високого, так і середнього тиску, а також для відновлення зношених деталей.

Висновок

Патентна розробка є значним кроком у вдосконаленні технологій виготовлення циліндрових втулок поршневих насосів. Її практичне впровадження дозволить знизити витрати на ремонт насосів, підвищити їхню продуктивність і забезпечити стабільну роботу в складних умовах експлуатації.

2.2 Матеріали для виготовлення втулок

Вибір матеріалу для циліндрових втулок залежить від умов експлуатації.

Найчастіше сучасні втулки виготовляються з таких матеріалів:

- чавун марки ЧХ28Д2: забезпечує високу стійкість до абразивного зносу. Використовується для внутрішніх шарів біметалевих втулок;
- сталь 60: використовується для зовнішнього шару біметалевих втулок, забезпечуючи міцність конструкції;
- покриття з хрому або боридів: підвищують мікротвердість і зносостійкість втулок. Хромування у проточному електроліті дозволяє отримати рівномірне покриття з високими експлуатаційними характеристиками.

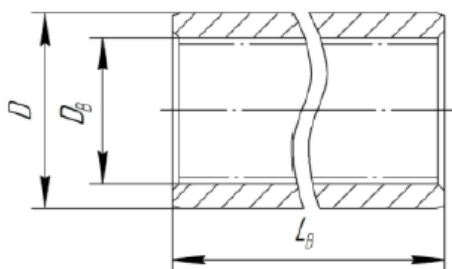


Рисунок 2.1 – Циліндрова втулка бурового насоса двосторонньої дії [4]

Для забезпечення ступінчастого регулювання продуктивності поршневих бурових насосів застосовуються змінні циліндрові втулки. Залежно від конструктивних особливостей, втулки поділяються на гладкі та такі, що мають

					MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

бурт на зовнішній поверхні. Наприклад, у насосах типу УНБ-600 втулки базуються в корпусі гідравлічного вузла за посадкою із зазором і мають зовнішній діаметр Ø230f9. Внутрішній діаметр втулок виконується за допуском Н11. Розмірний ряд втулок включає внутрішні діаметри: 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190 та 200 мм. У їх внутрішній порожнині працює гумово-металевий поршень, який завдяки самоущільненню забезпечує герметичність і перекачування промивних рідин.

Для виробництва циліндрових втулок застосовуються такі марки сталі, як 15, 20, 12, 12ХН2, 12ХН3, які проходять процес цементації; сталь 45, що піддається боруванню; а також сталь 70, яку гартують струмами високої частоти на глибину 3–6 мм, що дозволяє досягти твердості робочої поверхні в межах HRC 60–62. Висока якість обробки внутрішньої поверхні втулок забезпечується її шорсткістю на рівні Ra=0,32.

Проаналізувавши особливості зношення циліндрових втулок бурових насосів, здійснено порівняльну таблицю, що дозволяє оцінити переваги біметалевих втулок за показниками довговічності та необхідності технічного обслуговування. (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця характеристик біметалевих та сталевих втулок [3]

Параметр	Біметалева втулка	Сталева втулка
Гарантований термін служби, годин	600	200
Потрібна кількість втулок при бурінні (600 годин)		
- для насоса з двома поршнями	2	6
- для насоса з трьома поршнями	3	9
Час на одну заміну комплекту втулок (3 шт.), годин		
- для насоса з двома поршнями	0	4
- для насоса з трьома поршнями	0	12
Загальний час витрат на заміну втулок, годин		
- для насоса з двома поршнями	0	8
- для насоса з трьома поршнями	0	24

2.3 Характеристика методів виготовлення циліндрових втулок

Дослідження деталей, підданих СВЧ-гартуванню, виявило неоднорідності у зміцненому шарі поверхні, що виникають через локальні зони недогріву або перегріву в процесі термічної обробки. У результаті формуються ділянки з нерівномірною твердістю, де абразивна дія посилюється у зонах зі зниженою твердістю, а у зонах із підвищеною твердістю спостерігається утворення піттингів, які свідчать про крихке руйнування. На межах зон із різною твердістю часто утворюються мікротріщини або задирки.

Циліндрові втулки, що піддавалися хромуванню, показують тенденцію до появи розшарувань, волосовин та задирок. Ці дефекти спричиняють прискорене зношення втулок через розвиток піттингів, у порівнянні з деталями, зміцненими іншими методами. У той же час, хромовані втулки демонструють високу стійкість до корозійно-механічного руйнування, що обумовлює їхні кращі експлуатаційні властивості.

Водночас результати випробувань свідчать про те, що метод хромування не завжди гарантує довговічність деталей у корозійно-втомних умовах, особливо у середовищах з підвищеним вмістом абразивних частинок. Ефективність такого покриття залежить від його товщини: коли глибина зношення перевищує товщину хромового шару, процес зносу значно прискорюється.

Дослідження використаних втулок бурових насосів виявило як загальне зношення їхньої поверхні, так і локальні пошкодження у вигляді подряпин, борозен і рівчаків завглибшки 2–5 мм і більше, що перевищує товщину хромового покриття. Основною причиною втрати корозійної стійкості деталей є не лише умови експлуатації, але й технологічна спадковість.

Аналіз технології хромування свідчить про труднощі у забезпеченні рівномірного розподілу хрому по поверхні втулки та досягненні стабільної товщини покриття. Нерівномірність покриття негативно впливає на корозійну стійкість деталей, знижуючи їхню довговічність.

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

Додатково, втулки насосів експлуатуються в умовах гідроабразивного впливу, реверсивного тертя та піддаються крихкому руйнуванню через зниження корозійної витривалості матеріалу. Підвищення концентрації інгібіторів корозії у буровому розчині погіршує циклічну міцність сталевих деталей.

Незважаючи на системи фільтрації бурового розчину, тверді частинки гірських порід залишаються в робочому середовищі, що призводить до зношення втулок. Циліндрові втулки повинні функціонувати за умов мінімальної концентрації твердих часток (10–15 мкм), що, однак, спричиняє інтенсивне зношення через високу мікротвердість абразиву до 12500 МПа (кварц).

На стійкість до зношення впливає не лише якість поверхні, але й її мікрорельєф. Нерівності поверхні сприяють проникненню абразиву у зону контакту, посилюючи зношення через механічну й розклинювальну дію бурового розчину. Також циклічні гідродинамічні навантаження й агресивне середовище спричиняють корозійне розтріскування втулок, особливо в зоні переходу «втулка – поршень» через явища кавітації.

Усі ці аспекти свідчать про необхідність перегляду існуючих технічних умов і вдосконалення технології виготовлення втулок бурових насосів, аби забезпечити їхню довговічність та ефективність у складних експлуатаційних умовах.

Проаналізувавши особливості кожної наукової роботи, здійснено порівняльну таблицю (табл. 2.2).

Аналіз використання різних типів матеріалів для циліндрових втулок і відповідних технологій їх виготовлення показав, що вуглецева сталь із гартуванням струмами високої частоти та хромисті чавуни, мають недостатню зносостійкість або характеризуються надмірною крихкістю, що обмежує їх застосування. Методи хіміко-термічної обробки, зокрема цементація та іонне азотування, а також нанесення покриттів, як-от хромування, виявилися неефективними через технологічні труднощі або високі економічні витрати.

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

Таблиця 2.2 - Порівняльна таблиця досліджень.

№	Особливості	Дослідження		
		№1	№2	№3
1	Матеріали для втулок	Сталі (45, 70, 12ХН3) з поверхневим гартуванням до HRC 60–62	Біметалеві втулки: сталь (корпус) і чавун (внутрішня гільза)	Чавун ЧХ28Д2 (гільза), сталь 60 (обойма)
2	Методи зміцнення	Хромування в проточному електроліті, боридування, СВЧ-гартування	Поверхнєве гартування, борування, електрошлакове та електродугове наплавлення	Нанесення натягу в зоні спряження; термообробка
3	Проблеми	Інтенсивне зношування, корозія, втома матеріалів	Абразивне зношування, циклічні навантаження	Обмежена довговічність гільзи через нерівномірність деформацій
4	Переваги запропонованого методу	Висока зносостійкість, рівномірність покриття, низька шорсткість	Покращена довговічність через міцність матеріалів і нові методи виготовлення	Можливість швидкого відновлення втулок, зменшення витрат
5	Рекомендації щодо довговічності	Точна обробка, регулярна заміна, очищення робочих рідин	Очищення від абразиву, регулювання частоти ходів	Використання змінних компонентів, контроль параметрів посадок
6	Практичне застосування	Випробування змінених покриттів на парах тертя	Тестування різних типів біметалевих втулок	Оптимізація технології виготовлення і спряження компонентів втулки

3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Характеристика обраних вхідних даних

Для теоретичних досліджень було обрано циліндрову втулку бурового насоса. Матеріалом цієї втулки слугує Сталь 70 ДСТУ 8429:2015.

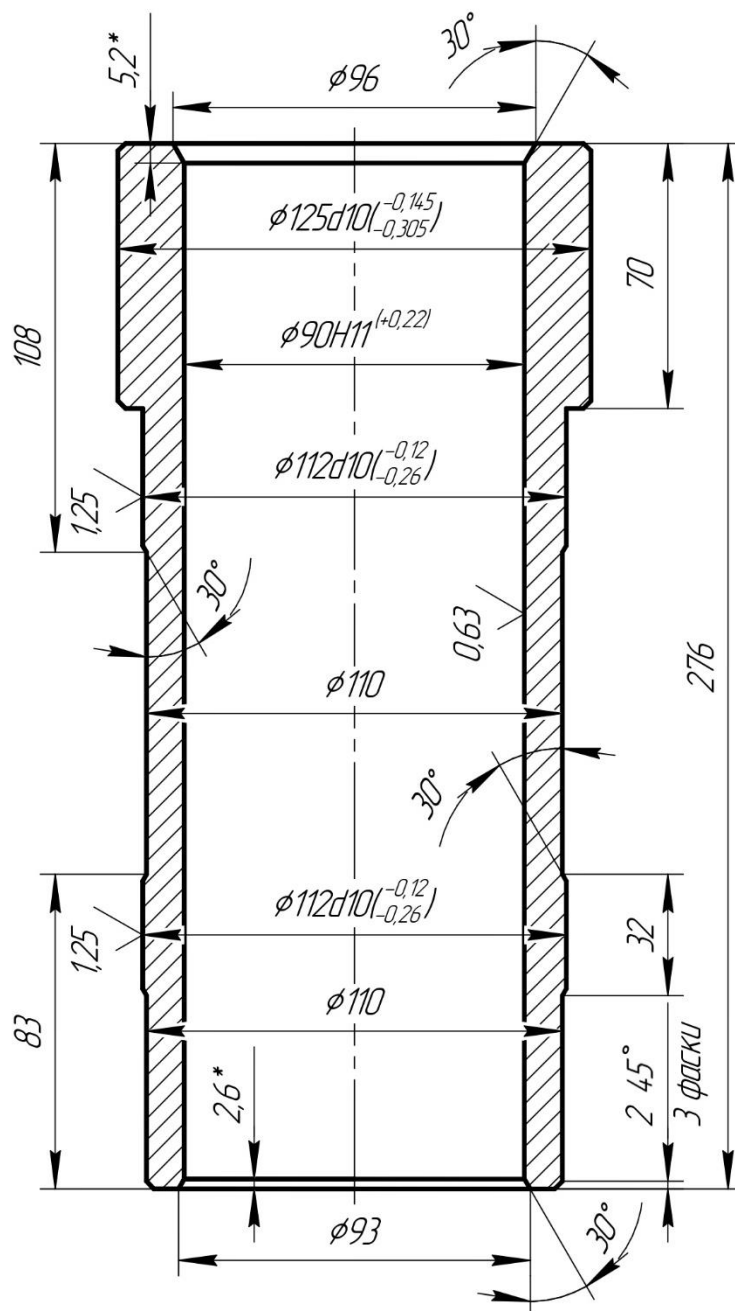


Рисунок 3.1 – Креслення циліндрової втулки бурового насоса

					МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

Для подальшого виконання технічних завдань у нафто-газовій промисловості важливо використовувати матеріали, що характеризуються високою зносостійкістю, тому вибір пав на сталь X12, із вмістом хрому (близько 12%) та підвищеним рівнем вуглецю, яка належить до групи ледебуритних сталей. В литому стані вони характеризуються наявністю карбідної евтектики. Наявність у литій структурі значної частки (до 20 %) грубозернистої карбідної евтектики знижує технологічні властивості високо-хромистих сталей. Це вимагає тривалого відпалу та інших заходів, спрямованих на зменшення вмісту карбідів і їх сфероїдизацію. До ефективних методів покращення структури таких сталей належить термоциклічна обробка (ТЦО), яка застосовується для литих і кованих виробів. Цей метод передбачає чергування нагрівання та охолодження в діапазоні температур, що охоплює зони поліморфних або евтектоїдних перетворень у сталі.

Оскільки сталь 70 та X12 відрізняються хімічним складом, було проведено порівняння у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Порівняльна таблиця хімічного складу Сталі 70 та X12 [10]

	Хімічний склад у %								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	V	Fe
Сталь 70	0,67 - 0,75	0,17 - 0,37	0,5 - 0,8	до 0,25	до 0,035	до 0,035	до 0,25	до 0,2	~97
Сталь X12	1,45 - 1,65	0,15 - 0,35	0,15 - 0,45	до 0,03	до 0,03	11 - 12,5	0,4 - 0,6	0,15 - 0,3	~85

Вибір сталі X12 можна пояснити потребами держав-лідерів з видобутку нафти, що надають перевагу подібним високоякісним матеріалам. Найбільшими виробниками нафти у 2023 році є США Росія, Саудівська Аравія, Канада та Ірак (рис. 3.2).

Сталь X12 застосовуються в таких країнах, як Росія, Саудівська Аравія та Ірак. Водночас у США, Канаді, Ірані, Японії та Німеччині використовують

аналоги цієї сталі з відповідними характеристиками, які підходять для екстремальних умов експлуатації нафтового обладнання.

Global crude oil and condensate production in 2023 by select countries
million barrels per day

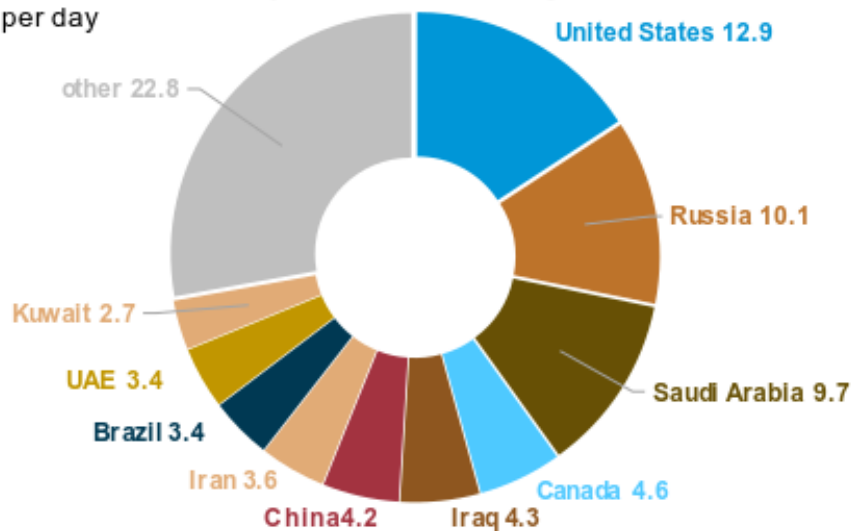


Рисунок 3.2 – Видобуток сирової нафти та конденсату у 2023 році в окремих країнах [11]

3.1.1 Моделювання

Аналіз міцності циліндрової втулки було вирішено виконати з використанням програмного середовища із вбудованою функцією симуляції. Для цього модель (рис. 3.3), виготовленої зі сталі X12, спершу піддано лінійному динамічному розрахунку, який передбачає дослідження вільних коливань із попередньо заданими вхідними параметрами (рис. 3.4). Матеріал для моделювання було обрано з вбудованої бібліотеки. У якості аналога сталі X12 використовувалася AISI 4340 Steel, normalized, яка має подібні механічні властивості. Це дозволяє отримати точні результати та оцінити поведінку втулки за реальних умов експлуатації. Лінійний динамічний аналіз був обраний через те, що цей тип аналізу дозволяє виявити критичні зони напружень, оцінити частоти вільних коливань і виявити можливі ризики резонансу, які можуть вплинути на надійність конструкції.

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

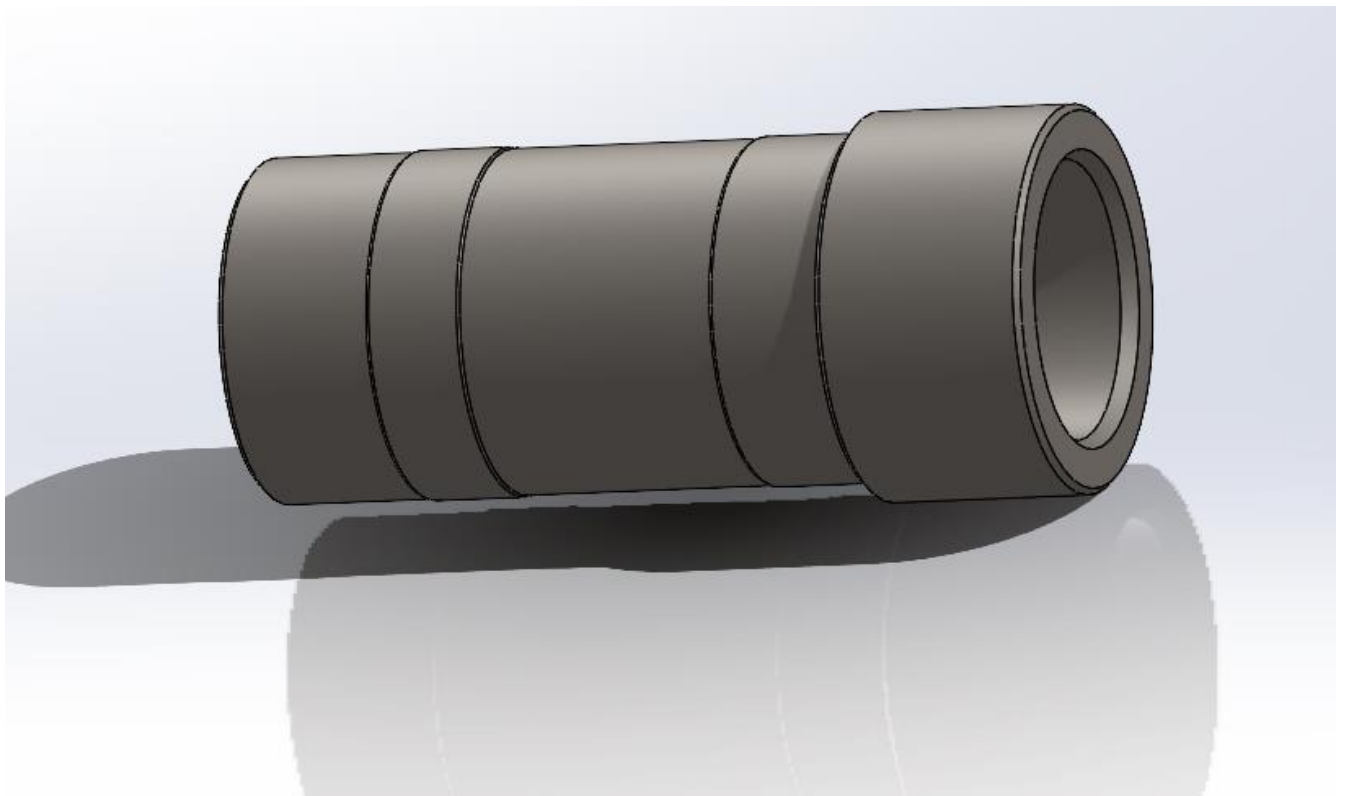


Рисунок 3.3 – Модель циліндрової втулки

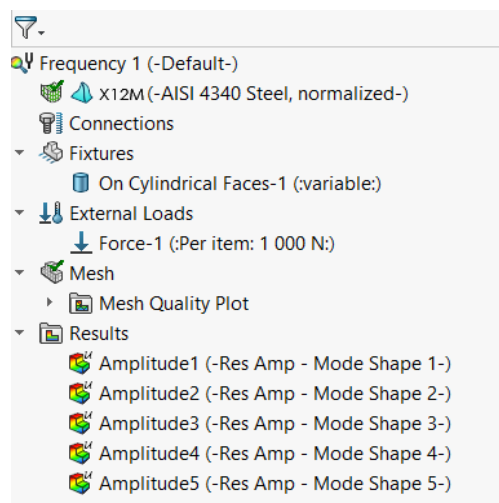


Рисунок 3.4 – Вхідні дані

Вільні коливання в конструкції виникають унаслідок початкового збурення. Основними причинами цих коливань є внутрішні сили інерції та пружності, без впливу зовнішніх періодичних навантажень. Дані результатів динамічного розрахунку було занесено у таблицю 3.2.

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

Таблиця 3.2 - Дані результатів динамічного розрахунку

№	Значення (Гц)	Шкала деформації	
1	36 034	0,0247933	<p>Study name: Frequency 1 (Default) Plot type: Frequency Amplitude1 Mode Shape: 1. Value = 36 034 Hz Deformation scale: 0,0247933</p>
2	37 390	0,0152279	<p>Study name: Frequency 1 (Default) Plot type: Frequency Amplitude2 Mode Shape: 2. Value = 37 390 Hz Deformation scale: 0,0152279</p>
3	37 415	0,014839	<p>Study name: Frequency 1 (Default) Plot type: Frequency Amplitude3 Mode Shape: 3. Value = 37 415 Hz Deformation scale: 0,014839</p>
4	37 530	0,019122	<p>Study name: Frequency 1 (Default) Plot type: Frequency Amplitude4 Mode Shape: 4. Value = 37 530 Hz Deformation scale: 0,019122</p>
5	38 291	0,0150121	<p>Study name: Frequency 1 (Default) Plot type: Frequency Amplitude5 Mode Shape: 5. Value = 38 291 Hz Deformation scale: 0,0150121</p>

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

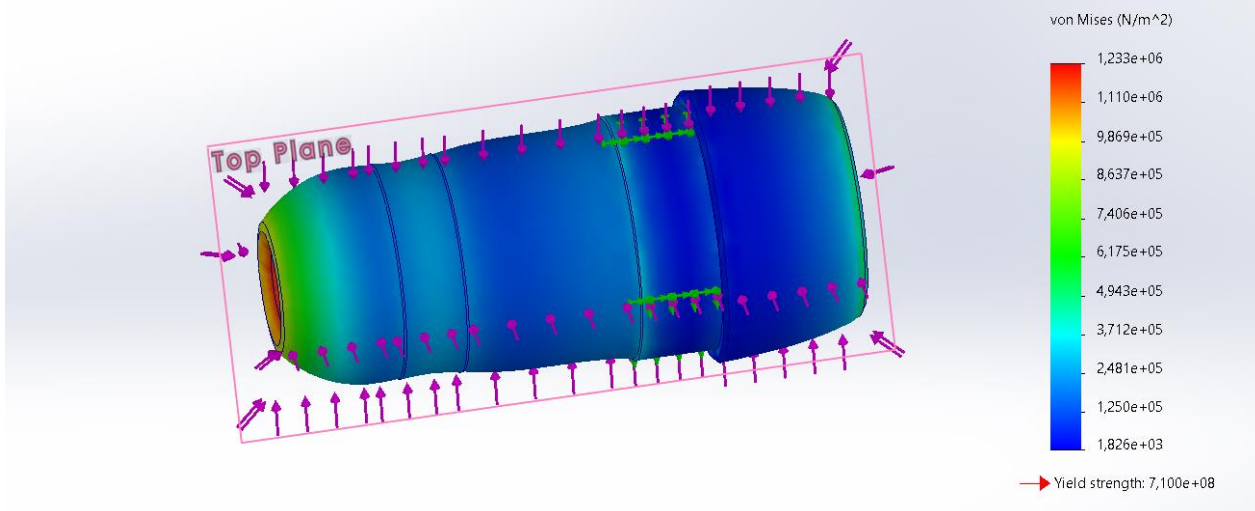
МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ

Арк.

42

Для проведення статичного аналізу напружень і деформацій на модель була застосована вертикальна сила, величиною 1000 Н, розподілена рівномірно по контактній поверхні. Такий підхід дозволяє точно змоделювати дію контактного тиску, що виникає під час взаємодії вала з опорною конструкцією. Цей сценарій максимально наближений до реальних умов експлуатації, що дає змогу оцінити поведінку конструкції під навантаженням. Результати проведеного статичного розрахунку представлені на рисунку 3.5.

Study name: Static 1(-Default-)
 Plot type: Static nodal stress Stress1
 Deformation scale: 102 939



Study name: Static 1(-Default-)
 Plot type: Static nodal stress Stress1
 Deformation scale: 78 459,4

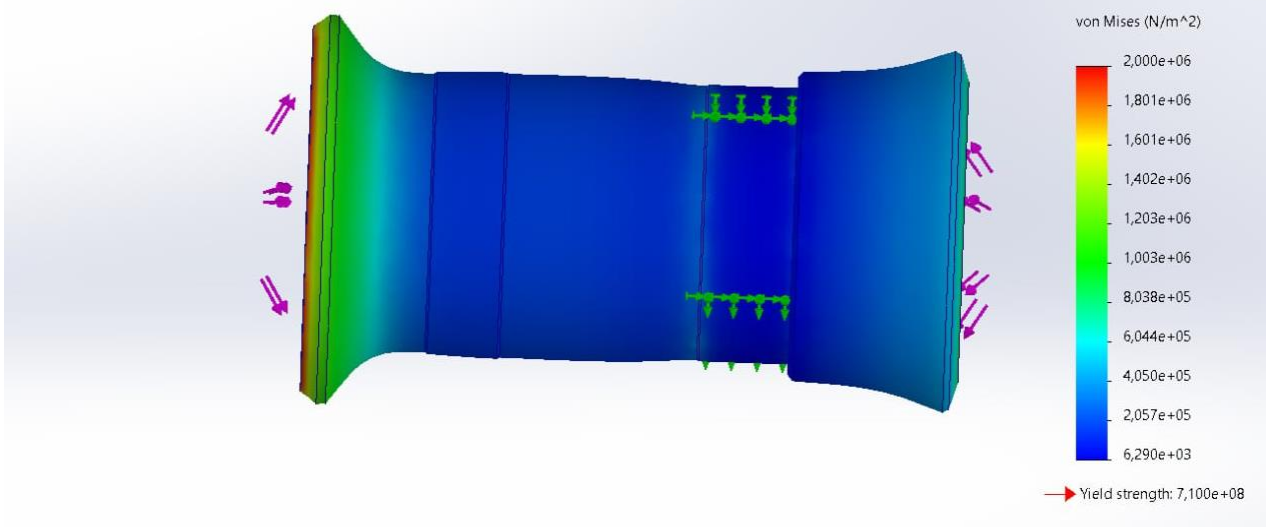


Рисунок 3.5 – Дані результатів статичного розрахунку

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

3.2 Термоциклічна обробка сталі

Взірці сталі нагрівали у електричній пічці до температури 950 °С [8]. В дослідженні використовувалася сталь D3, але для зручності було обрано сталь X12, як відповідник. Оскільки сталь D3 та X12 відрізняються хімічним складом, було проведено порівняння у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Порівняльна таблиця хімічного складу Сталі D3 та X12 [10, 12]

	Хімічний склад у %						
	Fe	C	Cr	Mn	Si	Ni	Cu
Сталь D3	~85,1	2,03	11,666	0,523	0,184	0,24	0,114
Сталь X12	~85	2 - 2,2	11,5 - 13	0,15 – 0,45	0,1 - 0,4	До 0,4	До 0,3

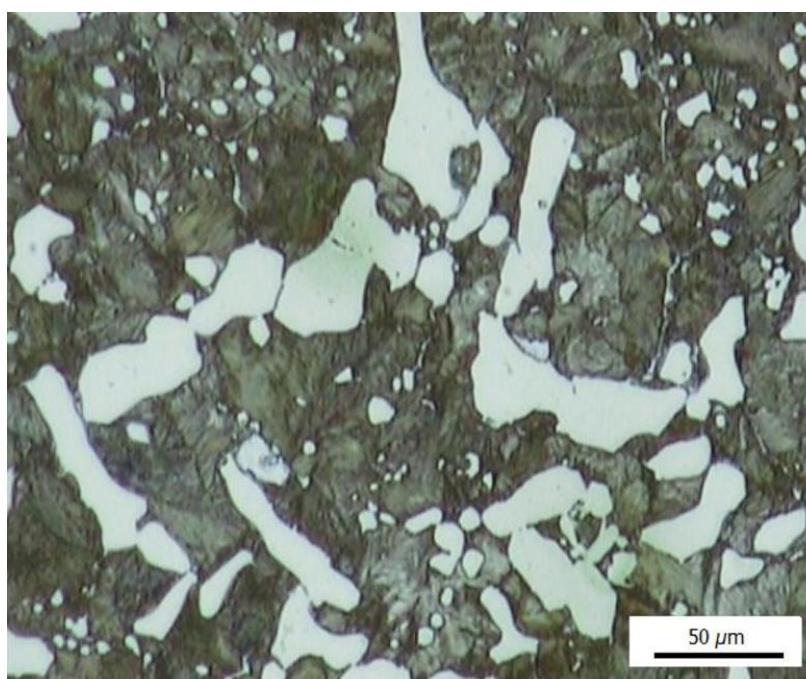


Рисунок 3.6 – Мікроструктура сталі X12 у первинному литому стані [8]

Після витримки при температурі 950 °С протягом 30 хвилин їх охолоджували двома різними способами: стиснутим повітрям або ж у маслі кімнатної температури, до відмітки 20 °С. Цей цикл термічної обробки повторювали від 5 до 7 разів (рис.3.7).

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

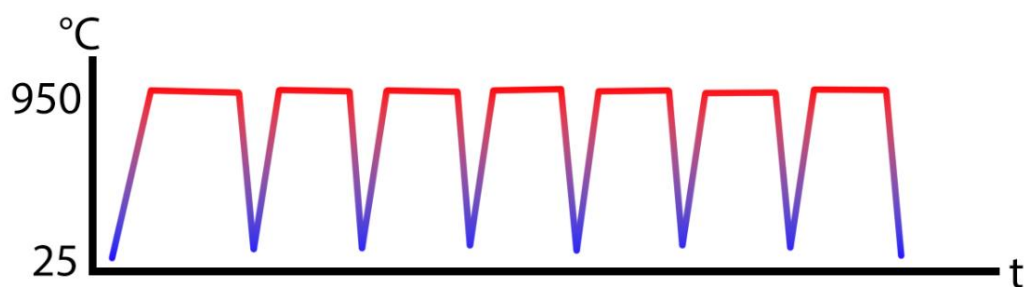


Рисунок 3.7 – Графік зміни температури сталі при гартуванні

Отриману структуру сталі аналізували за допомогою стандартних металографічних методів, зосереджуючись на визначенні об'ємної частки карбідів і дослідженні їхнього розподілу за розмірами. Після кожного окремого циклу термообробки виконували вимірювання твердості сталі.

Мікроструктури зразка, що витримувались при температурі 950°C протягом 30 хвилин із подальшим загартуванням у повітрі, показують, що при таких умовах карбід не розчиняється повністю. Циклічна термічна обробка не забезпечує повної сферодизації карбідних часток. Однак збільшення кількості циклів призводить до зменшення розміру карбідних часток і кращої сферодизації. Для зразка з 11,6% Cr потрібні більше циклів та часу для досягнення ефективної сферодизації. Важливу роль відіграє швидкість охолодження: при гасінні в олії процес сферодизації прискорюється, що можна побачити на зображеннях оптичної мікроскопії.

Зображення зразків, оброблених різною кількістю циклів, підтверджують часткову руйнацію карбиду хрому при швидкому охолодженні, що є очікуваним, оскільки розчинення цементиту в аустеніті є повільним процесом. Сферодизація покращується з кожним циклом завдяки дифузії атомів у матеріалі. Після 7 циклів мікроструктура складається переважно з ізольованих сфероїдів цементиту та фериту.

Твердість зразків зросла до 5-го циклу, а потім зменшилася через зменшення кількості цементиту та утворення дрібніших часток фериту внаслідок

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

гасіння в олії. Пояснення швидкої сферодизації полягає в високій температурі процесу, неповному розчиненні цементиту та нерівноважному охолодженні в олії, що сприяє утворенню дефектів, які є центрами дифузії для сферодизації.

Дослідження показало, що в результаті термоциклічної обробки сталі, яка містить 2 % вуглецю, 11,7 % хрому, 0,52 % марганцю та 0,24 % нікелю, можна досягти твердості на рівні 65–67 одиниць HRC.

Таблиця 3.4 - Порівняльна таблиця впливу числа циклів термоциклічної термообробки (ТЦО) на показники карбідної фази (середній діаметр, об'ємну частку карбідів фази (середній діаметр, об'ємну частку карбідів) і твердість сталі X12 [8].

Число циклів	Середній діаметр карбідів (μm)	Об'ємна частина карбідів (%)	Твердість (HRC)
1	6,80	12,1	63,4
2	5,92	24,0	65,2
3	4,75	38,6	67,5
4	4,66	47,4	69,0
5	4,20	63,9	63,0
6	3,80	76,4	68,0
7	2,01	84,2	67,0

Наведені результати показують, що вже після перших трьох циклів термоциклування середній розмір карбідних включень зменшується на третину, а їх об'ємна частка зростає більш ніж утричі (з 12,1 % до 38,6 %). Після трьох циклів термоциклування сталь X12 досягає твердості, яка становить 67,5 HRC, що пояснюється поступовим збільшенням об'ємної частки карбідів.

Термоциклічна обробка сприяє суттєвому збільшенню ударної в'язкості сталі, яка може зрости в 1,6–2,5 рази. Мікроструктури сталі X12 у вихідному литому стані та після декількох циклів термоциклування зображено на рисунках (рис.3.6, рис.3.7). Порівняння початкової структури зі структурами після трьох циклів термічної обробки наочно демонструє значне подрібнення карбідів та їх сфероїдизацію, яка завершується після трьох теплових змін.

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

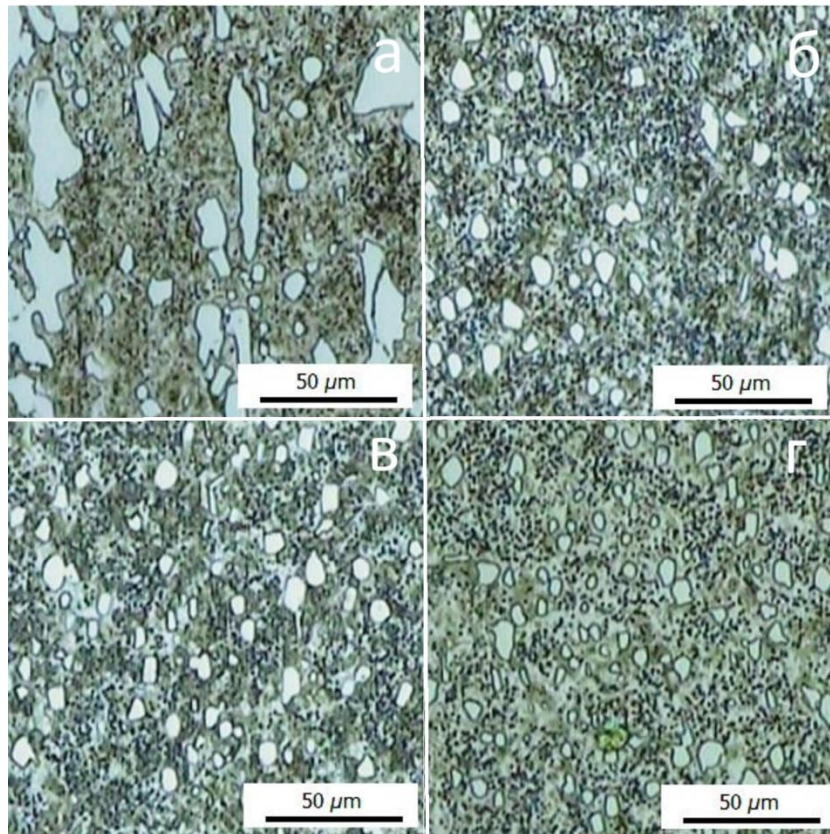


Рисунок 3.9 – Мікроструктура сталі після термоциклів та гартуванням у маслі
(а – 1; б – 3; в – 5; г – 7) [8]

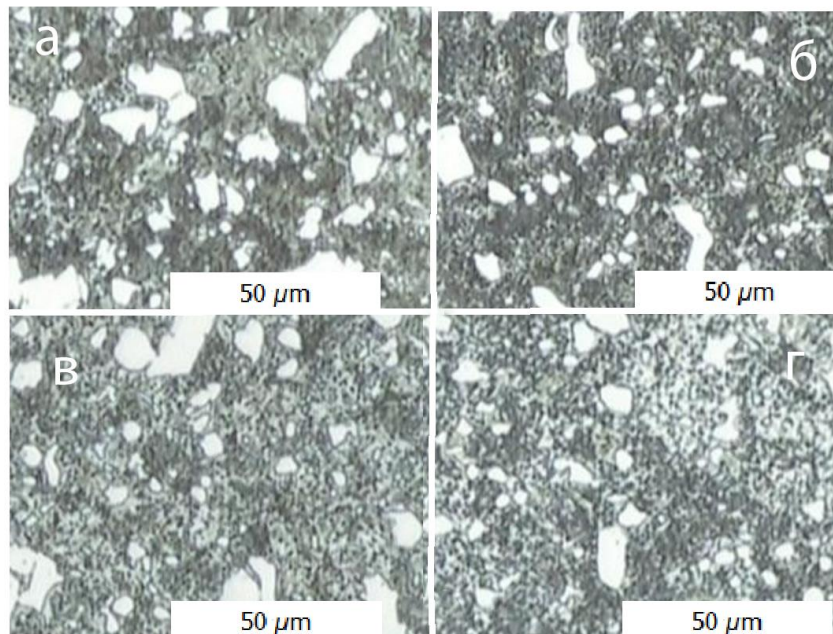


Рисунок 3.10 – Мікроструктура сталі після термоциклів та гартування повітрям
(а – 1; б – 3; в – 5; г – 7) [8]

Отримавши результати можна припустити, що прискорена сфероїдизація карбідів у сталі зумовлена виникненням деформацій і напружень, які спричинені динамічною нерівномірністю температурного поля. Додатково цьому сприяють об'ємні зміни, що супроводжують процес перетворення аустеніту в мартенсит під час інтенсивного охолодження сталі.

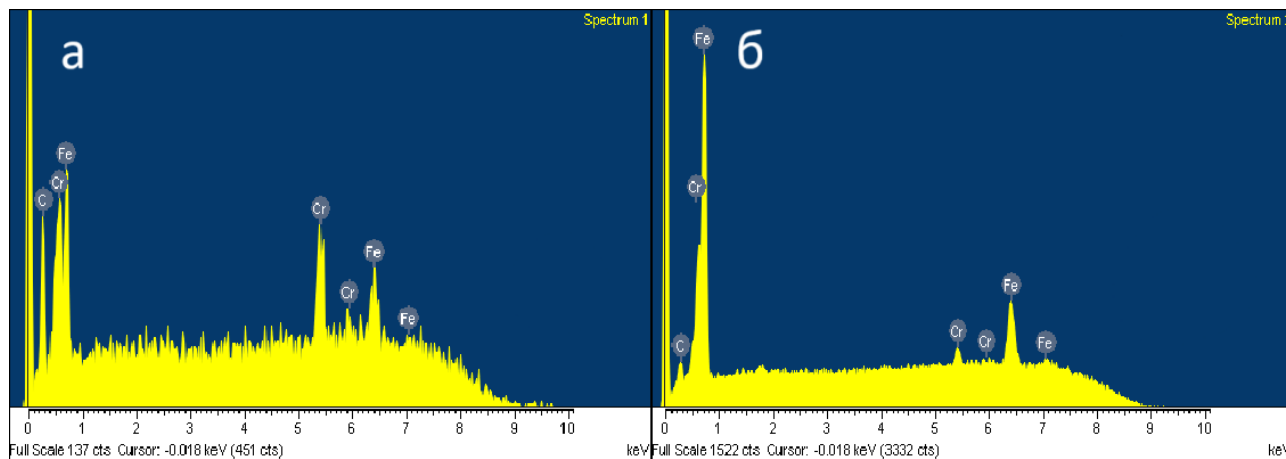


Рисунок 3.11 – Результати аналізу методом енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (а – карбіди, б - матриця сталі) [8]

Отримані результати експериментів та моделювання свідчать про ефективність термоциклічної обробки для оптимізації властивостей високолегованої сталі X12, що використовується у виробництві циліндрових втулок. Зменшення розміру карбідних включень і зростання їхньої об'ємної частки позитивно впливають на твердість і ударну в'язкість матеріалу.

3.3 Результати теоретичних досліджень

На основі проведених теоретичних досліджень встановлено такі основні результати:

1. Матеріали для виготовлення втулок: обґрунтовано вибір сталі X12 як основного матеріалу для циліндрових втулок. Її висока зносостійкість забезпечується значним вмістом хрому (~12%).

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

2. Моделювання конструкції: використовуючи програмне середовище із вбудованою можливістю симуляції, проведено лінійний динамічний і статичний аналіз конструкції втулки. Це дозволило визначити критичні зони напружень і оцінити можливі ризики резонансу.

3. Термоциклічна обробка: проведено серію експериментів з термоциклічної обробки сталі X12. Результати свідчать, що після трьох циклів обробки досягається оптимальне поєднання властивостей: зменшення розміру карбідних включень, збільшення їхньої об'ємної частки до 38,6% та твердість на рівні 67,5 HRC. Сфероїдизація карбідів завершується після третього циклу, що забезпечує стабільність структури і рівномірність властивостей по всій довжині втулки.

Проведені дослідження підтвердили ефективність термоциклічної обробки сталі X12M для покращення її механічних властивостей, зокрема твердості та ударної в'язкості. Оптимізація структури матеріалу забезпечує довговічність і надійність циліндрових втулок у складних експлуатаційних умовах.

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження технологій виготовлення та вдосконалення циліндрових втулок для бурових насосів. Основну увагу приділено аналізу існуючих методів обробки металів, зокрема технології гартування, з метою підвищення експлуатаційних властивостей досліджуваних деталей. Детально вивчено вплив гартування на характеристики сталі Х12.

Результати дослідження показали, що гартування є найбільш економічно доцільною технологією для обробки втулок зі сталі Х12. Це пояснюється можливістю багаторазового використання втулок після розточування під більші розміри, що суттєво знижує витрати на виробництво та підвищує ресурс деталі.

Таким чином, у роботі запропоновано технологічне рішення, яке поєднує ефективність індукційної термообробки та її адаптивність до виробничих потреб. Застосування цієї технології дозволяє забезпечити високу якість деталей, їхню ремонтпридатність та економічну ефективність, що є важливим фактором у сучасному виробництві бурового обладнання.

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Насоси. Розвиток, види та будова - [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] -URL:http://tehnomash.com.ua/istorija_rozvitku_vidi_ta_budova_nasosu.html
2. В. О. Панченко, А. А. Папченко. Гідравлічні машини і обладнання нафтових та газових комплексів - [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] - URL:https://essuir.sumdu.edu.ua/Panchenko_hidravlichni_mashyny
3. Артим В.І., Яценко Т.В., Пенц В.Ф. Підхід до процесу виготовлення біметалевих циліндрових втулок бурового насоса та їх експлуатаційні характеристики // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. Вип. 3 (45). – 2015. – ПолтНТУ
4. В.В. Остапович Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2015. Випуск № 52
5. Механіка турбулентних потоків // Труди конференції. - М.: Машинобудування. – 1980. – 265 с.
6. І.Ф. Концур, В.І. Артим, Б.Д. Сторож, Т.В. Яценко, М.Я. Чичула Аналіз умов роботи циліндропоршневої пари та спосіб виготовлення біметалевих циліндрових втулок для бурових насосів односторонньої дії // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2013. № 3(48)
7. Експерт. Український діловий портал - [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] -URL:<https://expert.in.ua/economics/>
8. Muhammadpour M., Kiani-Rashid A. An Acceleration Spheroidization method in high chromium Tool Steel // COMAT, 2012. Plzen, Gzech Republic. 2012. No. 11. С. 43–47.
9. Підстригач Я.С., Коляно Ю.М. Узагальнена термомеханіка. Київ: Наукова Думка, 1976. 310 с.
10. Metinvest - [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] - URL:<https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades>

					<i>МР.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

11. Управління енергетичної інформації (EIA) - [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] - URL: <https://www.eia.gov/todayinenergy/>

12. Database of Steels and Alloys - [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] - URL: <https://www.splav-kharkov.com/>

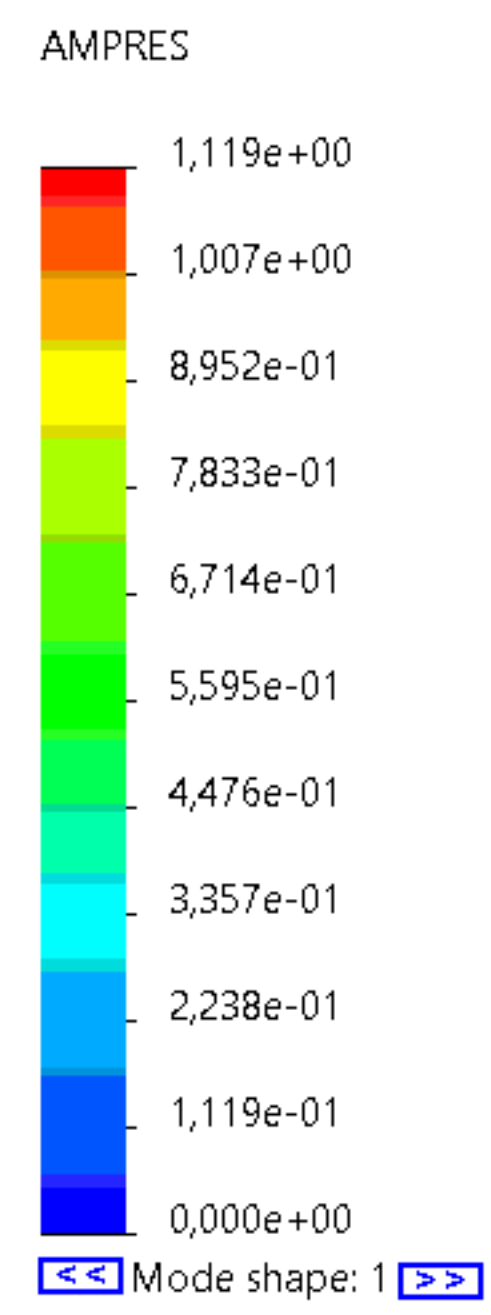
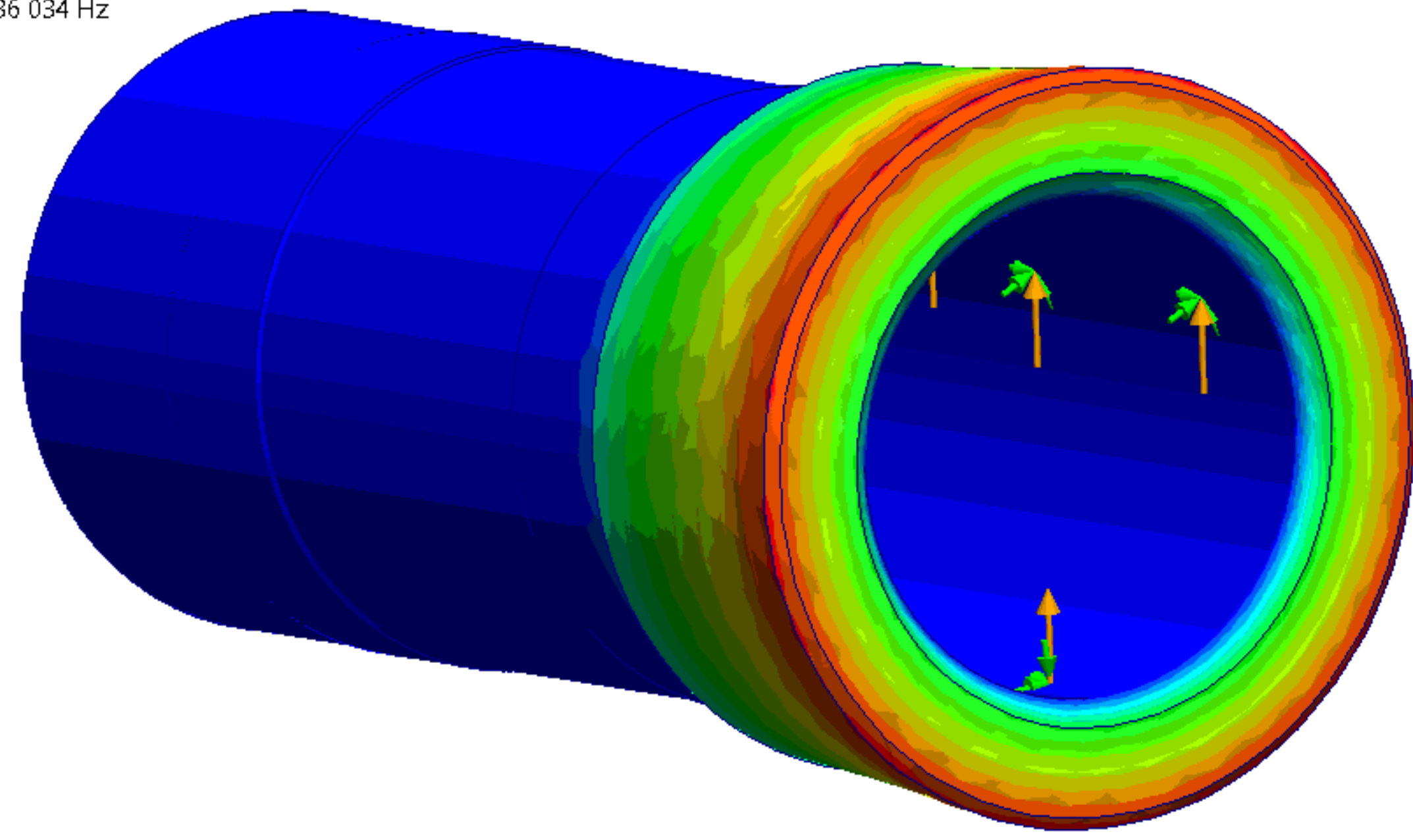
13. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 160 с.

14. Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – 156 с.

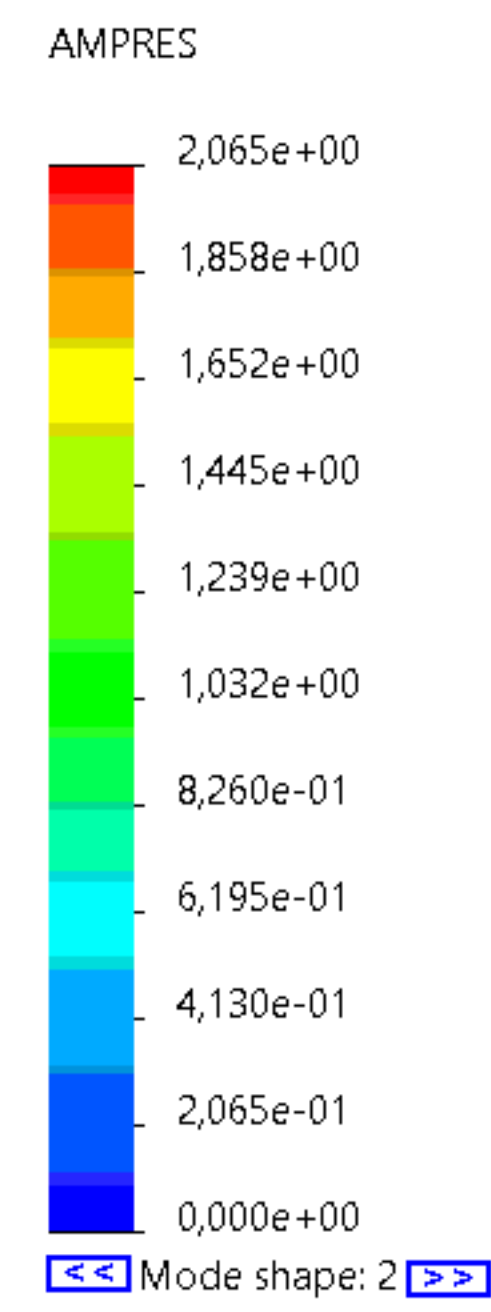
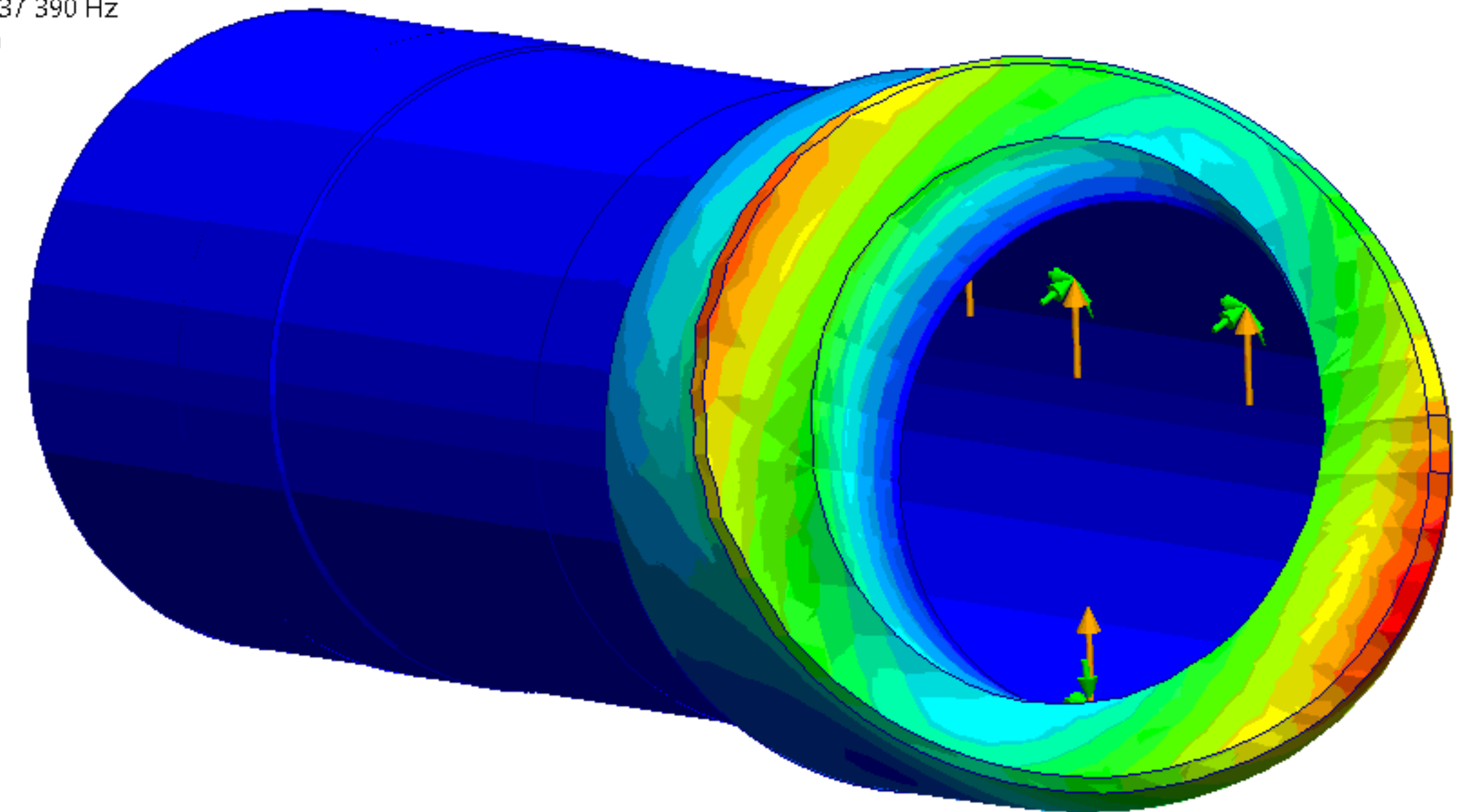
15. Cylinder liner seal arrangement and method of providing the same / Joseph Worthington – Cummins intellectual properties, inc. – Aug. 3, 2011 – 13/197,197

					<i>MP.ПМКм-22.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

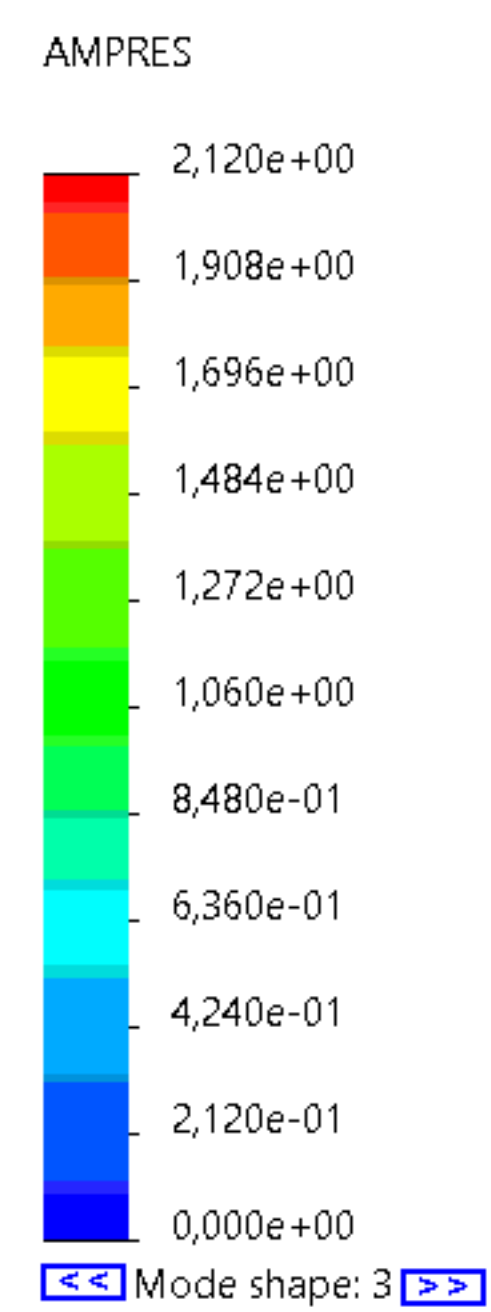
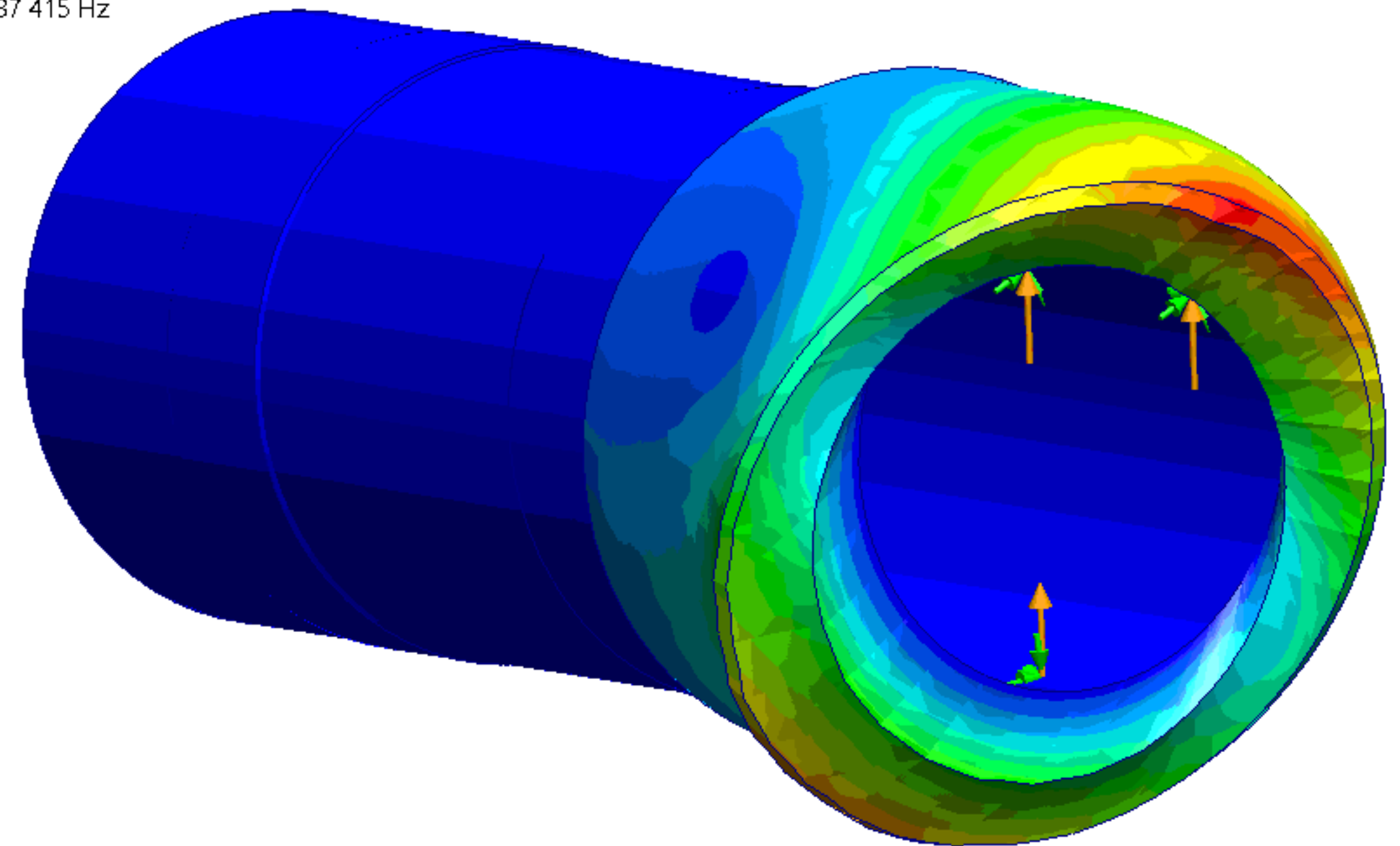
Study name: Frequency 1(-Default-)
 Plot type: Frequency Amplitude1
 Mode Shape : 1 Value = 36 034 Hz
 Deformation scale: 0,0247933



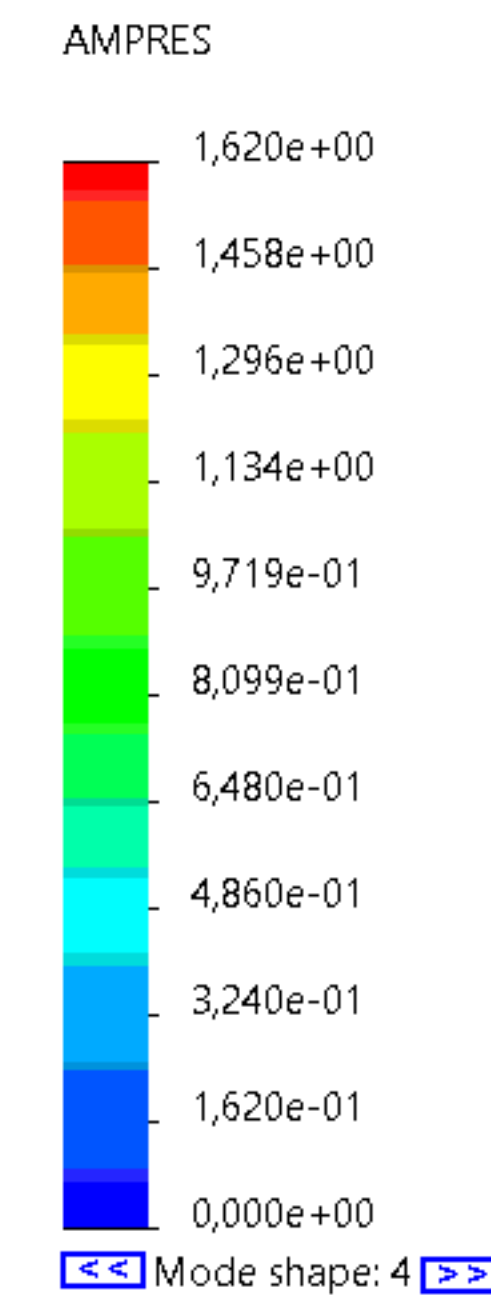
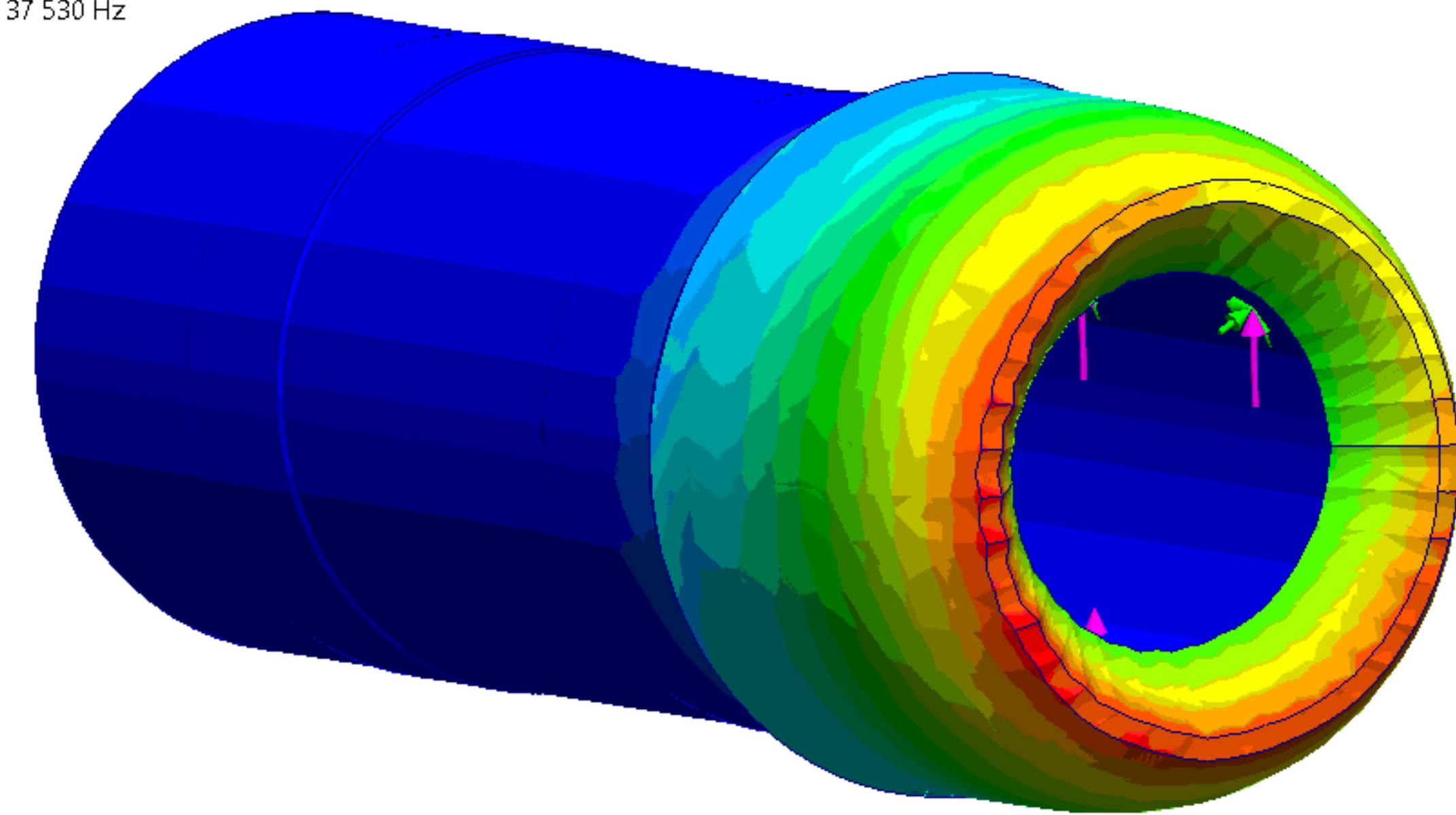
Study name: Frequency 1(-Default-)
 Plot type: Frequency Amplitude2
 Mode Shape : 2 Value = 37 390 Hz
 Deformation scale: 0,0152279



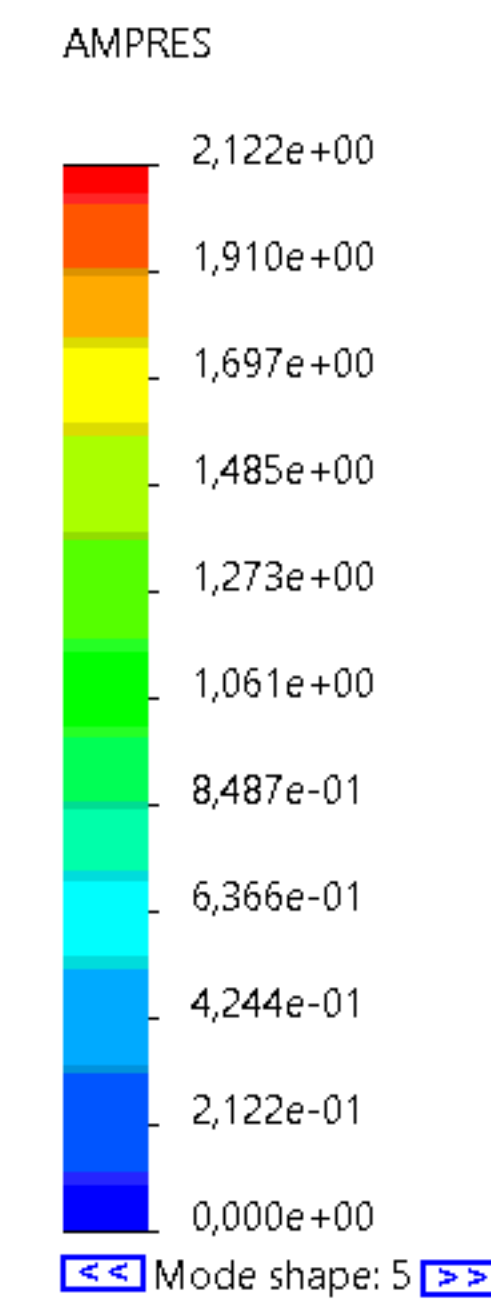
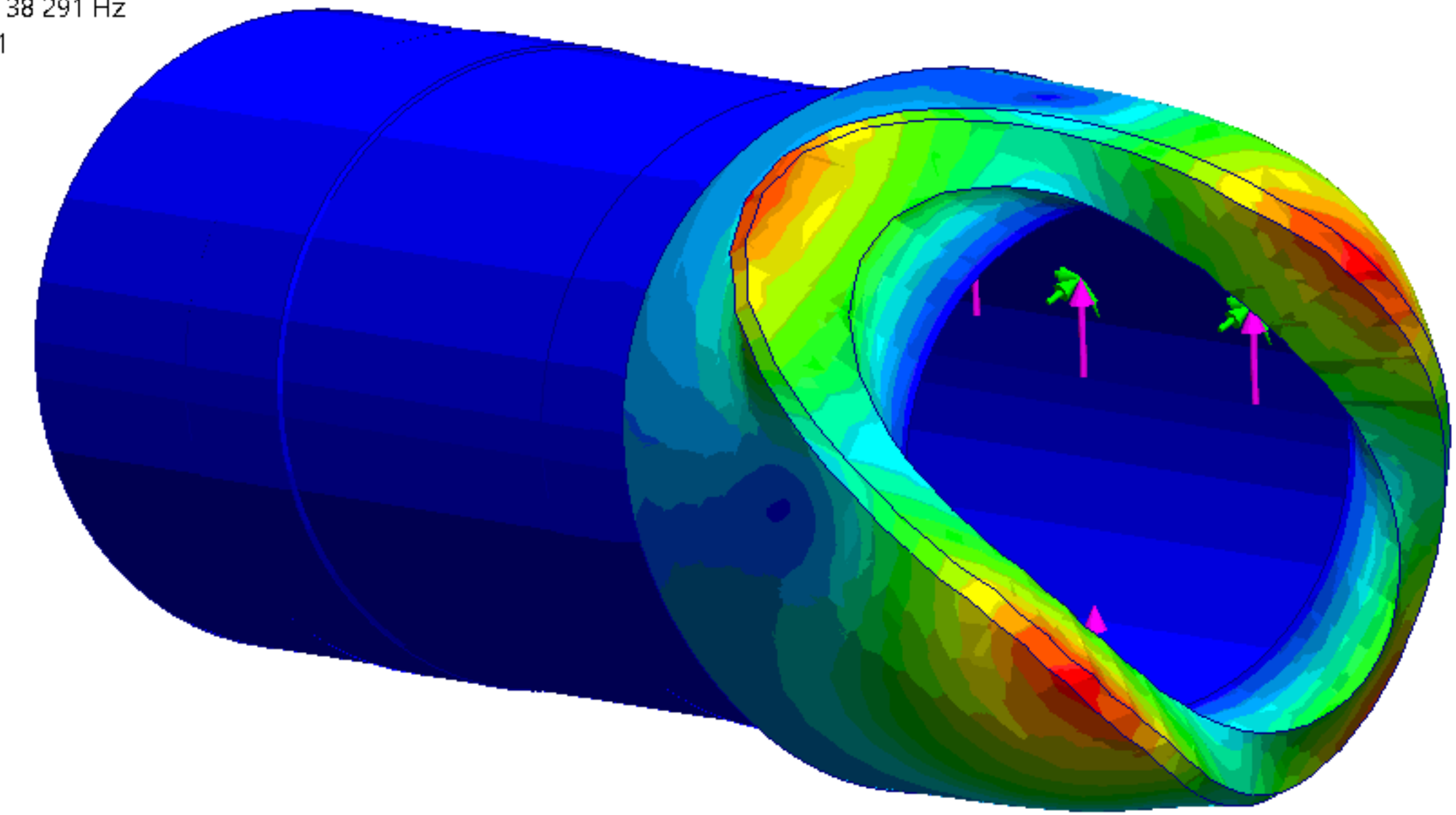
Study name: Frequency 1(-Default-)
 Plot type: Frequency Amplitude3
 Mode Shape : 3 Value = 37 415 Hz
 Deformation scale: 0,014839



Study name: Frequency 1(-Default-)
 Plot type: Frequency Amplitude4
 Mode Shape : 4 Value = 37 530 Hz
 Deformation scale: 0,019122



Study name: Frequency 1(-Default-)
 Plot type: Frequency Amplitude5
 Mode Shape : 5 Value = 38 291 Hz
 Deformation scale: 0,0150121



Періодична записка
 Діагностика №
 План і дата
 Зам. №, №
 №, №, №

				MP.ПМКМ-22.00.001 ПЗ		
				Циліндра втулка		
				Лист	Клас	Масштаб
						1:1
				Арк	Аркцикл	1
Зм. Арк	№ док.м.	Підп.	Дата			
Розроб	Харчук О.А.					
Перев.	Рогачук Л.Я.					
І контр.	Рогачук Л.Я.					
Реценз.						
Нхонтр.	Рогачук Л.Я.					
Затверд.	Панчук В.І.					

Перше застосування

Довідковий

Підпис і дата

Інв. дідл.

Взам. інв.

Підпис і дата

Інв. правдн.

Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Харук О.Л.		
Перев.	Роп'як Л.Я.		
Т.контр.	Роп'як Л.Я.		
Реценз.			
Н.контр.	Роп'як Л.Я.		
Затверд.	Панчук В.Г.		

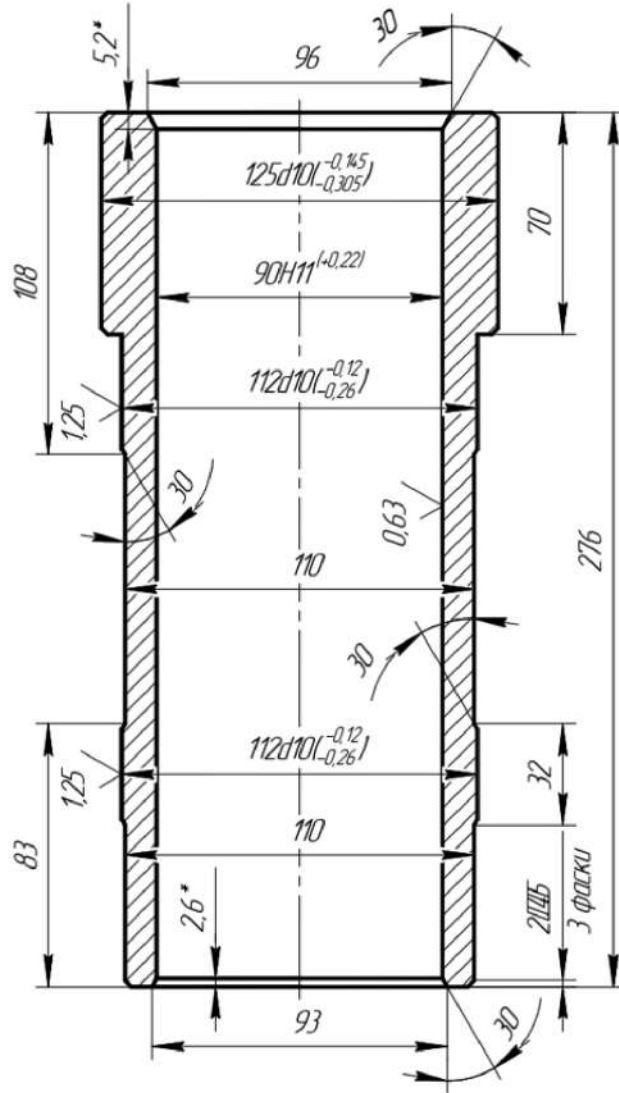
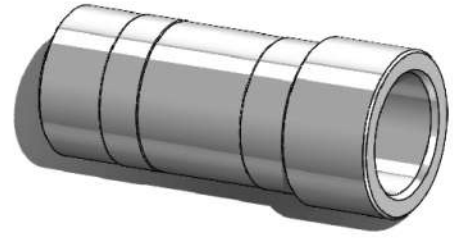
Літ.	Маса	Масштаб
	-	
Аркцш	Аркцшів	1
ІФНТУНГ ПМКМ-23-1		

11ГрБ-50.00.01

12,5 \checkmark (\checkmark)

Перше застосування

Довідковий



Підпис і дата

Інв. діл.

Взам. інв.

Підпис і дата

Інв. прабдн.

11ГрБ-50.00.01

Втулка
циліндрова

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Харук О.Л.		
Перев.		Роп'як Л.Я.		
Т.контр.		Роп'як Л.Я.		
Реценз.				
Н.контр.		Роп'як Л.Я.		
Затверд.		Панчук В.Г.		

Лит.	Маса	Масштаб
	-	2:1
Аркцш	Аркцшів	1
ІФНТУНГ ПМКМ-23-1		

Перше застосування

Довідковий

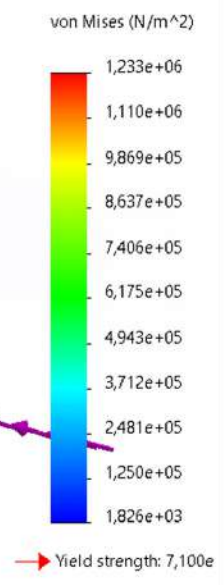
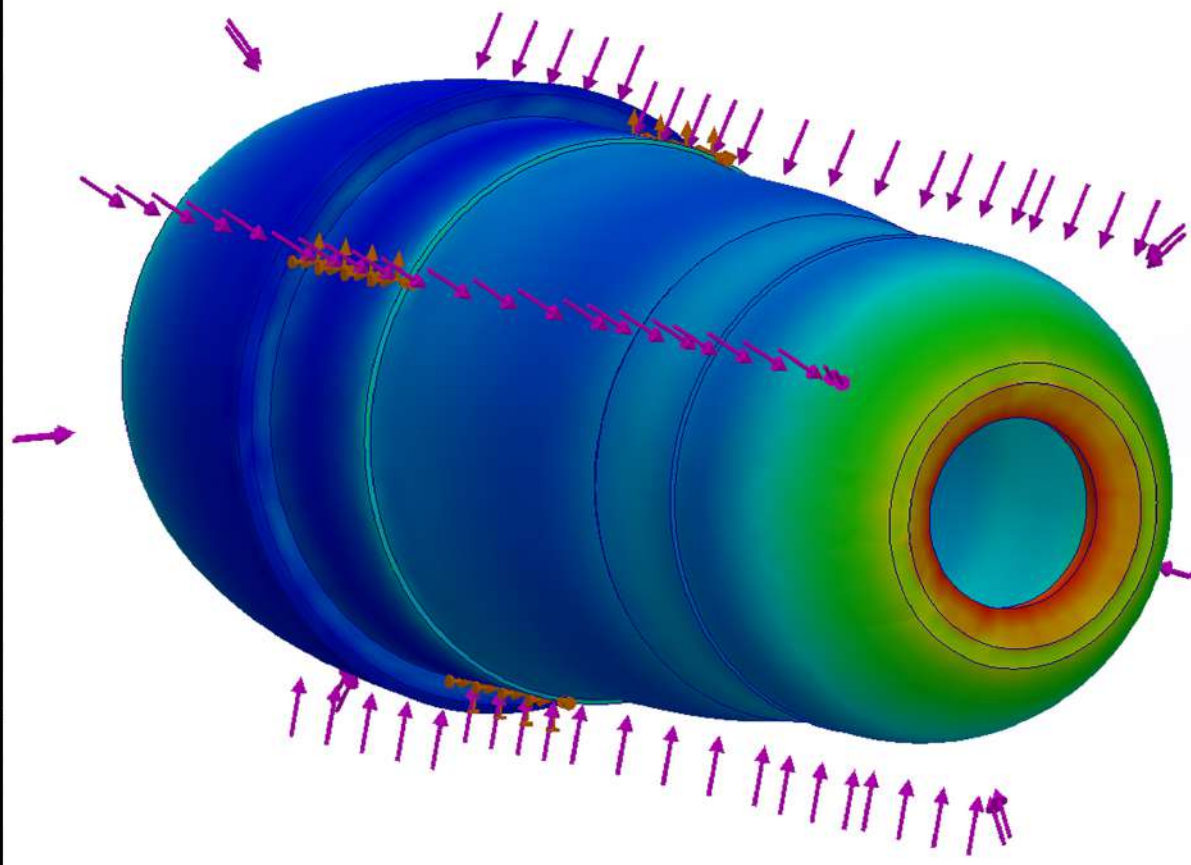
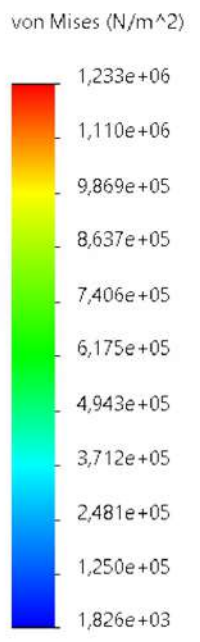
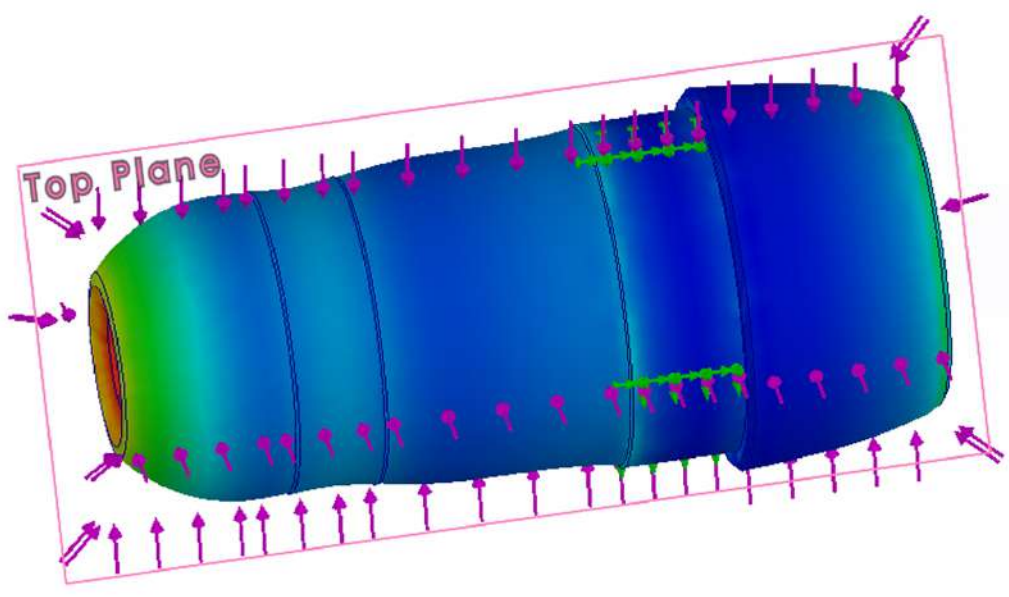
Підпис і дата

Інв. дідл.

Взам. інв.

Підпис і дата

Інв. прабдн.



Зм. Арк.	№ докum.	Підп.	Дата
Розроб.	Харук О.Л.		
Перев.	Роп'як Л.Я.		
Т.контр.	Роп'як Л.Я.		
Реценз.			
Н.контр.	Роп'як Л.Я.		
Затверд.	Панчук В.Г.		

Втулка циліндрова

Лім.	Маса	Масштаб
Аркцш	Аркцшів	1
ІФНТУНГ ПМКМ-23-1		