

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

На тему: «Дослідження механізму герметизації торцевого ущільнення з парюю тертя «Сталь - ПТФЕ композит»

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: Комп'ютерна механіка

Виконав: студент групи КМ.м-91 Хоменко А.В.

Керівник: Гудков С.М.

Рецензент: Холод В.Б.

Суми-2020

SUMMARY

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: с.52, рис. 35, т. 4, дж. 36.

Об'єкт дослідження: торцеве механічне ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит».

Мета: дослідження механізму герметизації торцевого ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит».

Методи дослідження: аналіз і узагальнення даних джерел науково-технічної інформації; числовий розрахунок міцності кілець ущільнення методом скінчених елементів; експериментальні методи дослідження, які дозволили встановити ефективність конструкцій торцевого механічного ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит».

У роботі проведено аналіз існуючих видів матеріалів, які використовуються для виготовлення кілець торцевого ущільнення. Особливу увагу в роботі приділено композиційним матеріалам. За допомогою програмного комплексу ANSYS Student виконаний аналіз напружено-деформованого стану кілець ущільнення виконаних зрізних матеріалів. Проведено експериментальні дослідження торцевого ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит». Виконано аналіз отриманих результатів.

ТОРЦЕВЕ УЩІЛЬНЕННЯ, ПАРА ТЕРТЯ, ПТФЕ КОМПОЗИТ, МЕХАНІЗМ ГЕРМЕТИЗАЦІЇ, ВИТОКИ.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Аналіз сучасного стану матеріалів для пар тертя торцевих механічних ущільнень.....	8
1.1 Торцеві механічні ущільнення їх переваги та недоліки.....	8
1.2 Матеріали пар тертя торцевих механічних ущільнень.....	10
1.3 Композитні матеріали, класифікація композитних матеріалів, спосіб виготовлення та застосування.....	15
1.3.1 Відомості про композитні матеріали.....	15
1.3.2 Класифікація композитних матеріалів.....	16
1.3.3 Типи матриць з композитних матеріалів.....	20
1.3.4 Композитні матеріали для торцевих ущільнень.....	24
1.4 Висновки.....	26
2. Числовий розрахунок торцевого ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит» за допомогою програмного комплексу Ansys Student.....	28
2.1 Опис програмного комплексу ANSYS Student.....	28
2.2 Вхідні дані та послідовність розрахунку.....	29
2.3 Результати розрахунків.....	30
2.4 Висновки.....	44
3. Експериментальні дослідження торцевого ущільнення з парою тертя «Сталь-ПТФЕ композит».....	45
Висновок.....	48
Перелік посилань.....	49

ВСТУП

Одним з основних вузлів насосного і компресорного обладнання є ущільнення валу, що обертається, так як від роботи ущільнення в цілому залежать ресурс і надійність машини. Вихід з ладу ущільнення призводить до великих економічних витрат через втрату сировини, до забруднення навколишнього середовища, а також приносить шкоду здоров'ю людини.

У більшості сучасних відцентрових насосів загальнопромислового призначення в якості кінцевих ущільнень часто використовуються торцеві механічні ущільнення. Основними перевагами торцевих ущільнень є висока герметичність і довговічність. Одним з основних недоліків механічного торцевого ущільнення є його ціна, яка обумовлена вартістю кілець ущільнення. Тому необхідно шукати нові матеріали для виготовлення кілець торцевого механічного ущільнення, які більш дешевші але водночас по надійності не поступаються традиційним матеріалам. При виборі матеріалу кілець торцевого ущільнення необхідно враховувати властивості робочого середовища, частоту обертання валу, навантаження на ущільнення, хімічну стійкість матеріалу. Велике значення при виборі матеріалів кілець має правильне їх поєднання. Правильно підібрані матеріали кілець повинні володіти мінімальними коефіцієнтами тертя, низькою швидкістю зношування, високою теплопровідністю, стійкістю проти задирів, схватування і корозії. Виконання вищезазначених вимог забезпечують необхідну герметичність вузла ущільнення.

Тому мета даної роботи є дослідження механізму герметизації торцевого ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит». Для досягнення цієї мети, необхідно вирішити такі задачі:

1. Аналіз та узагальнення даних науково-технічної літератури за темою роботи.
2. Числовий розрахунок напружено-деформованого стану кілець торцевого ущільнення в залежності від їх матеріалів.

3. Експериментальне дослідження торцевого ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит».

Об'єкт дослідження: торцеве механічне ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит».

Предмет дослідження: механізм герметизації торцеве механічне ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит».

Методи дослідження: аналіз і узагальнення даних джерел науково-технічної інформації; числовий розрахунок міцності кілець ущільнення методом скінчених елементів; експериментальні методи дослідження, які дозволили встановити ефективність конструкцій торцевого механічного ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит».

Робота складається з трьох розділів. Перший розділ присвячений аналізу сучасного стану матеріалів для пар тертя торцевих механічних ущільнень. У другому розділі виконаний числовий розрахунок напружено-деформованого стану кілець торцевого ущільнення за допомогою програмного комплексу ANSYS Student. Третій розділ присвячений експериментальному дослідженню торцевого ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит».

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПАР ТЕРТЯ ТОРЦЕВИХ МЕХАНІЧНИХ УЩІЛЬНЕНЬ

1.1 Торцеві механічні ущільнення

Одним з основних вузлів насосного і компресорного устаткування є ущільнення валу, що обертається, так як від роботи ущільнення в цілому залежать ресурс і надійність машини.

У більшості сучасних відцентрових насосів в якості кінцевих ущільнень часто використовуються торцеві ущільнення (ТУ) [1-10] (рис. 1.1). Вперше такі ущільнення стали застосовуватися на початку ХХ-го століття, але широке застосування в насособудуванні та хімічній промисловості отримали в середині минулого століття [11].

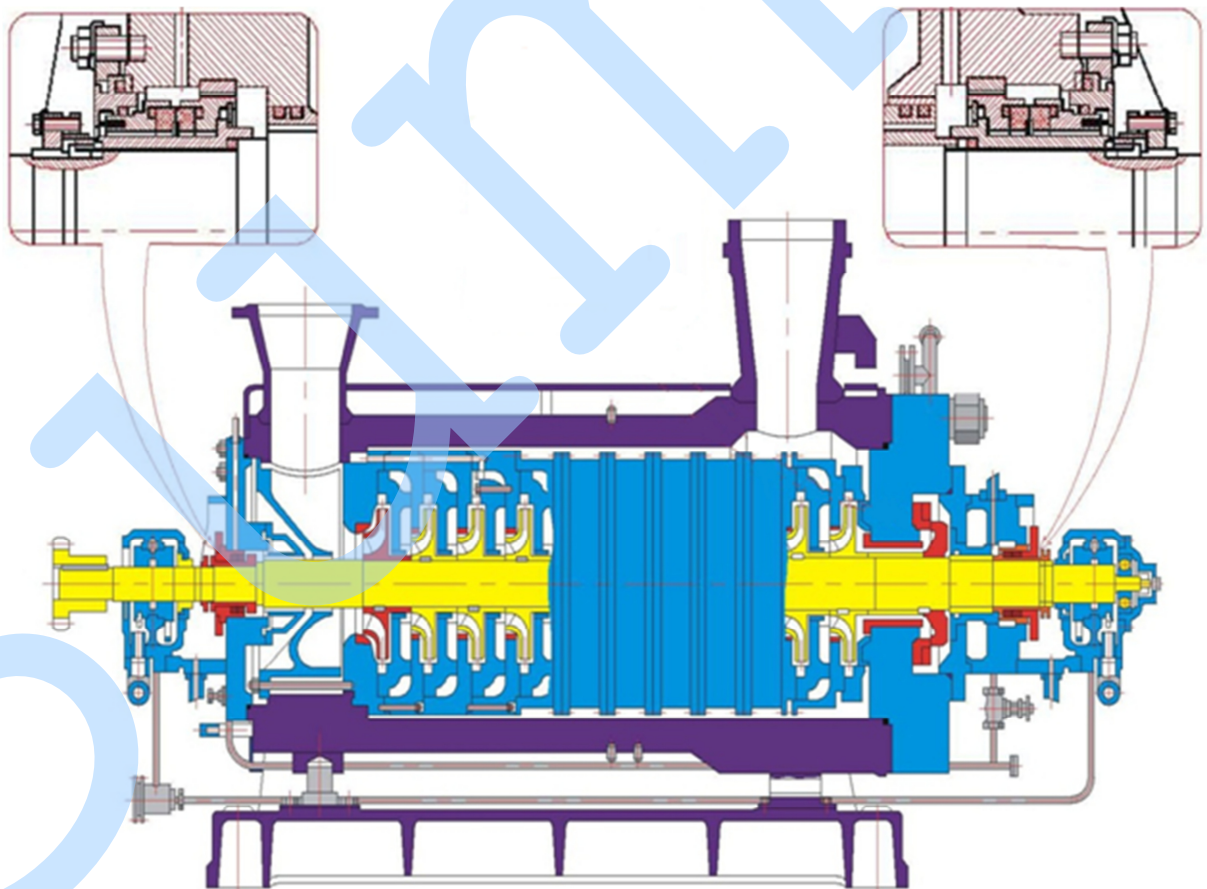


Рисунок 1.1 – Багатоступінчастий живильний насос ПЕ 580-185-5

На рисунку 1.2 показана конструкція ТУ. Ущільнення працює таким чином. Кільце 1 встановлено в корпусі машини 4, кільце 2 пов'язано з валом, що обертається 5. Торцева поверхня кільця 1 притискається до обертового кільця 2 пружним елементом 3. Герметичність забезпечується за рахунок щільного контакту торцевих поверхонь кільця ущільнення. Протікання в такій конструкції ТУ може відбуватися в двох напрямках: через торцевий зазор між кільцями ущільнення 1 і 2, а також через зазор між кільцем 2 і валом 5. Зі збільшенням контактного тиску герметичність ущільнення підвищується, проте при цьому збільшуються втрати потужності на тертя, в результаті чого збільшується знос поверхонь, які труться, їх нагрів і температурні деформації [5]. Протіканням через зазор між кільцем 2 і 5 перешкоджає ущільнювальне гумове кільце.

Основними перевагами ТУ є висока герметичність і довговічність. Довговічність обумовлюється тим, що знос тертьових поверхонь кільця ущільнення компенсується переміщенням кільця 2 в осьовому напрямку за рахунок пружного елемента 3, а також правильним вибором матеріалів тертьових поверхонь ущільнення. До недоліків ТУ можна віднести раптовість відмови і неможливість спрогнозувати ресурс роботи ущільнення в цілому.

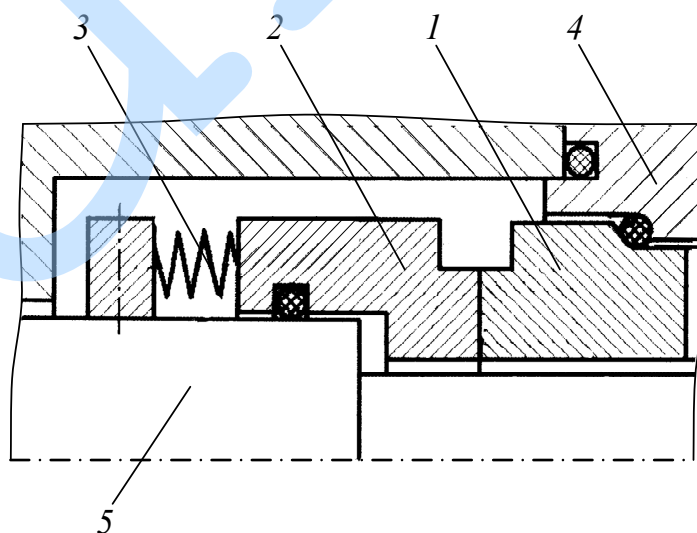


Рисунок 1.2 – Конструкція торцевого механічного ущільнення

Одним з основних недоліків механічного торцевого ущільнення є його ціна, яка обумовлена вартістю кілець ущільнення. Тому необхідно шукати нові матеріали для виготовлення кілець торцевого механічного ущільнення, які більш дешевші але водночас по надійності не поступаються традиційним матеріалам.

1.2 Матеріали пар тертя торцевих механічних ущільнень

Працездатність ТУ визначається, насамперед, правильним вибором матеріалу кілець. При виборі матеріалу кілець ТУ необхідно враховувати властивості робочого середовища, частоту обертання валу, навантаження на ущільнення, хімічну стійкість матеріалу. Велике значення при виборі матеріалів кілець має правильне їх поєднання [2]. Правильно підібрані матеріали кілець повинні володіти мінімальними коефіцієнтами тертя, низькою швидкістю зношування, високою теплопровідністю, стійкістю проти задирів, схватування і корозії [7]. Виконання вищезазначених вимог забезпечують необхідну герметичність вузла ущільнення.

В якості матеріалів пар тертя традиційно застосовуються метали, тверді сплави, вуглеграфітові матеріали, кераміка, пластмаси, сальникова набивка, покриття та напилення [12].

Метали. В якості матеріалу для пар тертя в торцевих ущільненнях використовують сталь 95X18 (загартована до 55 HRC) зазвичай у поєднанні з углеграфітом 2П-1000Ф. Широке поширення в конструкціях ущільнень отримав хромистий чавун і сплав нірезист. Чавуни мають хороші і стабільні характеристики в умовах «змащувального голодування». Корозійна стійкість чавунів підвищується з додаванням нікелю, хрому, міді або їх комбінацій.

Найбільш широко застосовують чавуни в комбінації з твердими вуглеграфітами в насосах, що перекачують нафтопродукти. Кільця з чавуну відносно недорогі і легко піддаються обробці. У вітчизняних конструкціях торцевих ущільнень чавуни не застосовують.

Тверді сплави. У парах тертя торцевих ущільнень часто застосовують сплави на основі карбиду вольфраму. В якості зв'язки при спіканні карбідів вольфраму найчастіше використовують кобальт і нікель. Карбід вольфраму надає сплаву жорсткість, міцність при стисненні, твердість, зносостійкість, а метал зв'язки - ударну в'язкість і міцність при вигині. Карбід вольфраму з кобальтом в якості зв'язки має обмежене застосування, в основному для абразивовмістких середовищ. Кобальт має низьку хімічну стійкість - розчиняється навіть у дистильованій воді, тому його не можна застосовувати в апаратах харчової промисловості. Кобальт, який має великий період напіврозпаду, неприпустимо використовувати в ущільненнях насосів атомних електростанцій. Кобальтова зв'язка кілець з карбиду вольфраму піддається сильній корозії в морській воді. Якщо замість кобальтової зв'язки використано нікель, то подібних явищ не відбувається. Завдяки малому температурному коефіцієнту лінійного розширення твердих сплавів (в 2 - 3 рази менше, ніж корозійностійкої сталі) деформація поверхонь тертя незначна.

Висока теплопровідність твердих сплавів (більш високу теплопровідність мають лише силіційований графіт і графітовані вуглеграфіти) обумовлює можливість їх застосування в умовах впливу високих термічних навантажень.

Вуглеграфітові матеріали. Найбільш широко застосовуються для ущільнення валів насосів матеріали на основі вуглецю. Вуглеграфітові матеріали виготовляють з коксу, графіту, сажі шляхом термообробки і опресування. Вуглецеві матеріали мають пористість, тому вони просочуються металами, синтетичними смолами, фторопластами. Для ущільнень з високим ступенем навантаженості використовують силіційований графіт. Силіційований графіт виготовляється просоченням пористого графіту кремнієм при температурі вище 2000 °С, недоліком цього матеріалу є крихкість.

Кераміка. Винятковість кераміки визначається її хімічною стійкістю в середовищах з сильними окисними властивостями, в яких інші матеріали нестійкі. Мінералокераміку виготовляють на базі оксиду алюмінію. Так, мінералокераміка ЦМ-332, що містить 99% оксиду алюмінію (корунду), має високу стійкість у середовищах з сильними окисними властивостями. Через крихкість і порівняно невисоку теплопровідність кераміка схильна до терморозтріскування при різкому охолодженні і швидкому нагріванні, тому режим «змащувального голодування» для кераміки небажаний. У вітчизняних конструкціях торцевих ущільнень застосовують мінералокераміку ЦМ-332 в парі з графіто-фторопластом Ф4К20.

Пластмаси. Для ущільнень, що працюють при дуже низькому рівні навантаженості (наприклад, в насосах системи охолодження автомобіля при тиску рідини 0,15 МПа і швидкості ковзання не більше 3,5 м/с), і для кілець пар тертя торцевих ущільнень використовують пластмаси. Для них характерні висока зносостійкість і висока технологічність (вироби з пластмас виготовляють за допомогою гарячого пресування). Як правило, застосовують тверді пластмаси на основі фенольної смоли, наповнені коксовою, азбестовою крихтою або азбестом шаруватої структури, а також графітом або бабітом в порошкоподібному вигляді. Ці матеріали мають високу зносостійкість у воді при роботі в парі з хромистим чавуном, бронзою і керамікою. Зносостійкість в значній мірі залежить від технологічних параметрів, наприклад, тиску і температури при пресуванні і тривалості охолодження. В автомобілебудуванні широко застосовують матеріал на основі фенольної смоли з додаванням графіту і свинцю - НАМИ-ГС-ТАФ-40, що працює в парі зі сталями 30Х13 або 40Х13, термооброблених до $42 \div 47$ HRC. Негативними властивостями матеріалів на базі синтетичних смол є їх низька термостійкість, що обмежує їх використання при температурах вище 80°C через підвищення коефіцієнта тертя і деструкції матеріалу.

Для найбільш агресивних середовищ і важких температурних умов (від -200 і до $+100^\circ\text{C}$) ущільнювальні кільця виготовляють із фторопласта -4

(ГОСТ 10007-80) і різних його модифікацій. Цей матеріал має практично абсолютну хімічну стійкість (на нього діють тільки розправлені лужні метали, трьохфторний хлор, елементарний фтор при високих температурах). Коефіцієнт тертя фторопласту -4 по твердій поверхні при малих швидкостях ковзання становить $0,05 \div 0,1$. Матеріали на основі фторопласта -4 мають високу стійкість у багатьох середовищах і низький коефіцієнт тертя по твердих поверхнях, особливо при низьких температурах, що є важливим при створенні вузлів ущільнень для умов герметизації криогенних середовищ. Однак вони володіють низькими показниками міцності і теплопровідності. Використання фторопластів -4 з різного роду наповнювачами підвищує міцність таких матеріалів, а добавки коксу і молібдену підвищують зносостійкість.

Сальникова набивка. Інколи в якості матеріалу одного з кілець торцевої пари застосовують сальникову набивку. Зазвичай використовують для цієї мети набивку на основі вуглецевих волокон. Таке застосування сальникової набивки для кілець торцевого ущільнення можливо для конструкцій на низькі перепади тисків (до 1 МПа). Перевагою такого використання набивки є можливість досить легкої заміни зношеного кільця без повного розбирання самого вузла ущільнення.

Покриття та напилення. Для зниження вартості ущільнень кільця пари, що труться, можна виготовляти з дешевих матеріалів і виконувати антифрикційне і зносостійке покриття поверхонь, які труться. Покриття зазвичай виконують плазмовим напиленням порошками з оксиду алюмінію або хрому, карбідів вольфраму або хрому. Товщина цих покриттів складає зазвичай десяті частки міліметра. Важливою умовою хорошої роботи таких кілець є близькість коефіцієнтів температурного розширення основного матеріалу кільця і матеріалу покриття. Крім напилення, покриття кілець виконують гальванічним способом або термообробкою: хромуванням, оксидуванням, азотуванням та ін.

Плазмова обробка включає в себе ряд різних технологій нанесення покриттів, в яких термічним джерелом є плазма, а джерелом кінетичної енергії струмінь газів, що сприяють виникненню плазми. В якості матеріалу покриття, залежно від потреб, застосовуються чисті метали (Ti, Ta, Mo, W, Al, Cu, Ni, Cr, V, Zr), сплави на основі Ni, Cr, Fe, B, Cu, карбіди Cr, W, Mo, Si, Ti, оксиди Cr₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, CrO₂, SiO₂.

Основні сфери застосування покриттів - це захист від корозії і дії хімічних елементів при високій і низькій температурах із забезпеченням високої абразивної і ерозійної зносостійкості. Покриття, нанесені плазмовим методом (особливо керамічні), застосовуються в хімічній і нафтохімічній промисловості. Це обумовлено їх високою хімічною стійкістю (більш високою, ніж у литої кераміки), опором термічним коливанням, задовільною абразивною зносостійкістю і можливістю «зняття» електростатичних зарядів, накопичених на кільці що обертається.

В якості покриття третьових поверхонь кілець пари тертя застосовують також карбід кремнію, що має гарну корозійну стійкість, стійкість до теплових ударів, високу твердість і теплопровідність, хороші антифрикційні характеристики. Із низки модифікацій карбіду кремнію (карбіди кремнію з кристалічною α - і β - структурами без вільного кремнію, карбіди з частковим вмістом вільного кремнію) до кілець торцевих ущільнень можна застосувати однофазний карбід, що володіє найкращими властивостями з кристалічною α -структурою.

Кільця торцевих ущільнень з такими покриттями значно дешевші у виробництві, ніж з цілісних дорогих матеріалів, проте їх застосування поки не стало визнаним шляхом для зниження вартості вузлів ущільнень [29].

1.3 Композитні матеріали, класифікація композитних матеріалів, спосіб виготовлення та застосування

1.3.1 Відомості про композитні матеріали

Серед нових матеріалів особливе місце займають композитні матеріали, що володіють цілим комплексом різних властивостей, раціональне поєднання яких дозволяє отримувати оптимальні конструкції. Тому технічний прогрес породжує необхідність розробки нових композитних матеріалів. За останні роки було створено нові матеріали із заданими властивостями, розроблено технологію їх виробництва і методи розрахунку.

Композиційні матеріал - неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох або більше компонентів, серед яких можна виділити армуючі елементи, що забезпечують необхідні механічні характеристики матеріалу, і матрицю, що забезпечує спільну роботу армуючих елементів. Механічне поведінка композиту визначається співвідношенням властивостей армуючих елементів і матриці, а також міцністю зв'язку між ними. Ефективність і працездатність матеріалу залежать від правильного вибору вихідних компонентів і технології їх суміщення, покликаної забезпечити міцний зв'язок між компонентами при збереженні їх початкових характеристик. У результаті суміщення армуючих елементів і матриці утворюється комплекс властивостей композиту, не тільки відображає вихідні характеристики його компонентів, але і включає властивості, якими ізольовані компоненти не володіють. Зокрема, наявність кордонів розділу між армуючими елементами і матрицею істотно підвищує тріщиностійкість матеріалу, і в композитах, на відміну від металів, підвищення статичної міцності призводить не до зниження, а, як правило, до підвищення характеристик в'язкості руйнування.

Для того щоб систематизувати композитні матеріали за різними ознаками, грамотно реалізувати процедуру вибору композитного матеріалу для виготовлення різних деталей, впорядкувати термінологію в галузі

матеріалознавства композитів, необхідна обґрунтована класифікація цих матеріалів. Єдиної загальноприйнятої класифікації композитних матеріалів немає. Це пояснюється тим, що композитний матеріал представляють найширший клас матеріалів, що поєднує метали, полімери та кераміку. Найбільш часто використовується класифікація композитних матеріалів, в основу якої покладено їх поділ за матеріалом.

1.3.2 Класифікація композитних матеріалів

Найбільш важливими ознаками класифікації композитних матеріалів є матеріал матриці. Композитних матеріали з металевою матрицею називають металевими композитними матеріалами МКМ, з полімерною матрицею - полімерними композитними матеріалами ПКМ, з керамічною - керамічними композитними матеріалами ККП. Композитні матеріали, що містять два і більше різних за складом матричних матеріалу, називають поліматричного [13]. Назва ПКМ зазвичай складається з двох частин. У першій частині називається матеріал наповнювача, в другій наводиться слово «пластик», або «волокна». Наприклад, полімерні композити, армовані скловолокном, називаються склопластиками; металевими волокнами - металопластик, органічними волокнами - органопластика, борними волокнами - боропластиками, вуглецевими волокнами - вуглепластик. Для характеристики МКМ частіше використовують подвійне позначення: спочатку пишуть матеріал матриці, потім - матеріал волокна. Наприклад, позначення мідь - вольфрам (Cu – W) відповідає композитному матеріалу, в якому матрицею є мідь, а волокнами - вольфрам. Для ККМ характерно таке ж позначення, як і для МКМ. Наприклад, позначення окис алюмінію-молібдену ($Al_2O_3 - Mo$) відповідає композитному матеріалу з матрицею з окису алюмінію і молібденовими волокнами. У деяких випадках для позначення композитних матеріалів використовується одне складне слово, наприклад бороалюміній або вуглеалюміній. У цьому випадку перша частина слова відповідає матеріалу волокна, а друга - матеріалу матриці.

Класифікація композитних матеріалів по геометрії армуючих елементів. Класифікація відповідно до геометрії армуючих елементів (порошки або гранули, волокна, пластини) приведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація композитних матеріалів до геометрії армуючих елементів

Армуючий елемент	Композиційні матеріали
Порошки	Порошкові - дисперсно-зміцнені КМ
Волокна	Волокнисті - КМ, армовані безперервними і дискретними волокнами
Пластини	Пластичні - шаруваті КМ, що складаються з безперервних і дискретних пластин які чергуються

Класифікація композиційних матеріалів за структурою і розташуванням компонентів. Відповідно до цієї класифікації композиційних матеріалів діляться на групи з матричною, шаруватою, каркасною і комбінованою структурою. Матричну структуру мають дисперснозміцнені і армовані композиційні матеріали. До матеріалів з шаруватою структурою відносяться композиції, отримані з набору шарів, що чергуються, фольги або листів матеріалів різної природи і складу. До композиційних матеріалів із каркасною структурою відносяться матеріали, отримані методом просочування. Комбіновану структуру мають матеріали, що містять комбінації перших трьох груп. Класифікація матричних композиційних матеріалів по схемі армування, конструкційний принцип. За орієнтацію і тип арматури всі КМ можна розділити на дві групи - ізотропні і анізотропні. Ізотропним називають матеріали, які мають однакові властивості в усіх напрямках. Властивості анізотропних матеріалів залежать від напрямку в

досліджуваному об'єкті. Композиційні матеріали з матричної структурою діляться на хаотично-армовані і впорядковано-армовані (рис. 1.3). Хаотично-армовані композиційні матеріали містять армуючі елементи у вигляді дисперсних включень, дискретних або безперервних волокон. Ці матеріали є ізотропним або квазіізотропними. Термін квазіізотропний означає, що композиційні матеріали є анізотропним в мікрообсязі, але ізотропним в обсязі всього виробу [14]. Класифікація композиційних матеріалів по методам отримання (технологічний принцип). Відповідно до цієї класифікації композиційних матеріалів діляться на матеріали, отримані рідкофазним і твердофазними методами, а також методами осадження - наплення, комбінованими методами.

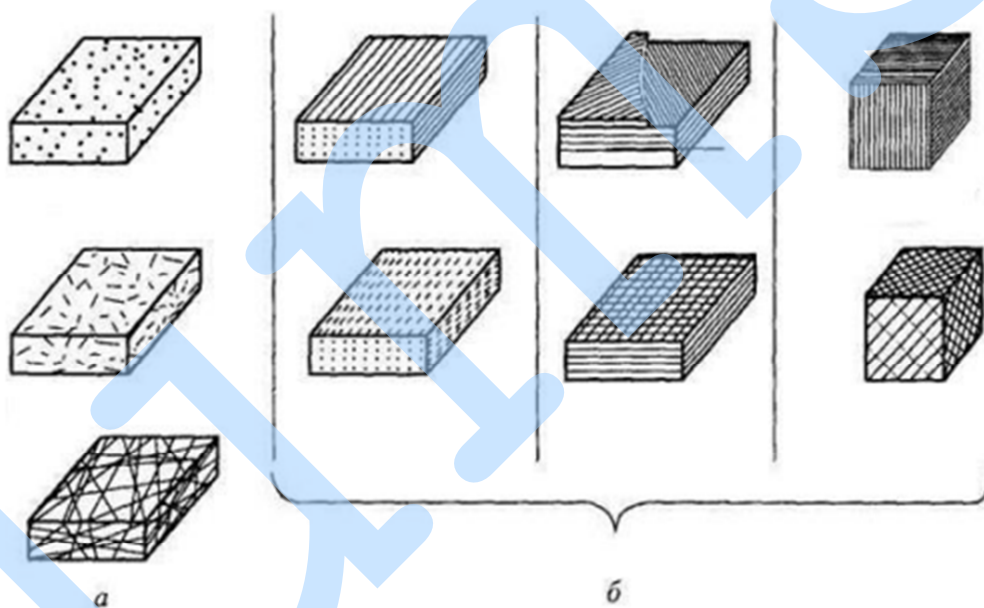


Рисунок. 1.3 – Класифікація композиційних матеріалів за конструктивною ознакою: хаотичні (а), одномірні і просторово армовані (б)

Класифікація композиційних матеріалів за призначенням досить умовна, оскільки часто композити є багатофункціональними матеріалами. Проте, серед безлічі композиційних матеріалів виділяють матеріали загального конструкційного призначення (несучі конструкції суден, літаків, автомобілів), жароміцні матеріали (лопатки турбін літаків, камери згорання),

термостійкі матеріали (вироби, що працюють в умовах частих теплосмін), фрикційні матеріали (гальмівні колодки), антифрикційні матеріали (підшипники ковзання), міцні матеріали (броня літаків, танків), теплозахисні матеріали, матеріали зі спеціальними властивостями (магнітними, електричними). Поняття матриця характеризує безперервну просторову фазу, відповідальну за збереження конфігурації виробу, передачу експлуатаційних навантажень на арматуру, опір дії інших зовнішніх факторів. Розробка полімерних матриць для ПКМ - серйозна і важлива проблема, оскільки багато властивостей композиту визначаються структурою матриці. Вимоги до матриць можна розділити на 3 групи:

- до першої групи можна віднести міцність, жорсткість, теплостійкість полімерної матриці,
- до другої - пластичність, тріщиностійкість, ударну в'язкість;
- до третьої - засвоюваність, технологічність сполучного.

Завдання дослідника, який конструює композиційний матеріал, знайти компроміс, оптимізувати, враховуючи ще екологічні, економічні, кон'юнктурні. Можна виділити наступні типи матриць: металеві (алюміній і сплави, магнієві сплави, титан і його сплави, мідь, сплави нікелю і кобальту); полімерні (термопласти: поліетилен, полістирол, політетрафторетилен, полівінілхлорид, поліфеніленоксид, поліфеніленсульфід, поліетилентерефталат, полікарбонат, поліаміди; реактопласти: фенолоальдегідні смоли, аміносмоли (карбамідоформальдегідні смоли, меламіноформальдегідні, аніліноформальдегідні смоли), ненасичені полієфірні смоли, епоксидні, поліуретанові смоли; еластомери: ізопренові каучуки, керамічні (звичайна кераміка: силікати; технічна кераміка: оксиди Al_2O_3 , карбіди SiC , нітриди Si_3N_4 , бориди TiB_2 , сульфід BeS ; кермети: сполуки, що містять керамічну (Al_2O_3) і металеву складову (Cr, Ni, Co, Fe)).

1.3.3 Типи матриць з композитних матеріалів

Металеві матриці. Алюміній і ливарні сплави на їх основі найбільш часто застосовуються при виготовленні композитів. Алюміній використовується при отриманні композитів як рідкофазними так і твердофазними методами. При виготовленні композиційних матеріалів твердофазними методами широко застосовують алюмінієві сплави. Переваги алюмінієвих сплавів: мала щільність, високий рівень механічних властивостей, висока технологічна пластичність. Для отримання композитів рідкофазними методами (литтям, просоченням) застосовують ливарні алюмінієві сплави. Ці сплави містять крім алюмінію в Mg, Si, Mn, Cu в незначних кількостях і відрізняються підвищеною вологотекучістю, малою лінійною усадкою, зниженою схильністю до утворення тріщин при підвищених температурах. Композиційні матеріали на основі алюмінію також можуть бути отримані методами порошкової металургії і газотермічного наплення. Високою питомою міцністю, малою щільністю володіють магнієві сплави. Магній практично не реагує з багатьма матеріалами, використовуваними для отримання зміцнюючих волокон. Висока питома міцність титану і його сплавів дозволяє широко використовувати їх в літакобудуванні та космічній техніці. Армуючи титан і його сплави високомодульними волокнами, можна забезпечити високу жорсткість композиційних матеріалів. Низький рівень міцності властивостей при підвищених температурах обмежує застосування міді. При виробництві композиційних матеріалів можливе усунення цього недоліку за рахунок армування міді волокнами вольфраму, заліза, графіту. Недоліком композиційних матеріалів на основі технічно чистого нікелю є їх низька жаростійкість. Для усунення цього недоліку застосовують жароміцні і ливарні сплави Ni – Cr. Високий рівень тривалої міцності, опору повзучості сплавів, що деформуються досягається введенням титану і алюмінію, що утворюють дисперсні частинки інтерметалідів типу Ni₃Ti і Ni₃Al, а також легуванням тугоплавкими елементами W, Mo, Nb. Композиційні матеріали на

основі нікелевих сплавів отримують за допомогою рідкофазними і твердофазними методами, а також методами порошкової металургії[15].

Полімерні матриці. Полімерну матрицю для композиційних матеріалів вибирають, враховуючи умови експлуатації виробів. Від матеріалу матриці значно залежать властивості композиту: міцність, тепло- і вологостійкість, стійкість до дії агресивних середовищ, метод отримання виробу. Полімери в якості матриці використовують або в чистому вигляді (порошки, гранули, плівки), або у вигляді сполучних. Сполучна представляє собою дво- або багатокомпонентну систему з синтетичного полімеру і затвердувачів, ініціаторів або каталізаторів, прискорювачів затвердіння. В сполучних з метою надання необхідних технологічних і експлуатаційних властивостей можуть бути додані розчинники, барвники, пластифікатори, стабілізатори та інші компоненти. При виробництві армованих пластиків найбільш часто застосовують термореактивні сполучні, при нагріванні яких відбуваються незворотні структурні і хімічні перетворення, безперервно розширюється використання термопластичних полімерів і еластомерів. Нижче подано коротку характеристику основних типів полімерів, що знайшли застосування при виготовленні ПКМ. Термореактивні полімери під дією тепла і хімічно активних добавок можуть набувати просторової структури, що супроводжується втратою плинності. Термореактивні полімери порівняно рідко застосовуються в чистому вигляді, коли вони містять тільки структуровані добавки. Зазвичай в них вводять сумісні і несумісні добавки, такі, як наповнювачі, розріджувачі, загусники, стабілізатори, барвники, мастила, і завдяки цьому отримують складні багатокомпонентні матеріали - реактопласти. В якості сполучних використовуються олігомери з молекулярної масою до 1500, в молекулі яких є більше двох функціональних груп. На початковій стадії отримання матеріалів і виробів термореактивні сполучні мають низьку в'язкість, що полегшує процес формування виробів. Різниця в хімічній структурі термореактивних пов'язуючих, широкий спектр зміцнювачів, ініціаторів

затвердіння, що модифікуються добавками, використання різних наповнювачів дозволяють отримувати конструкційні матеріали з дуже великим діапазоном міцності, електротехнічних і інших експлуатаційних характеристик. Залежно від типу сполучного реактопласту підрозділяються на фенопласти, амінопласти, поліефірні, епоксидні, поліуретанові, кремнійорганічні і інші пластики.

Технічний прогрес призводить до ускладнення умов використання полімерних матеріалів, при яких вони вже не відповідають необхідним вимогам [19]. Це викликає необхідність отримання нових високомолекулярних речовин або модифікації вже існуючих полімерів. Перше вимагає великих матеріальних витрат (на синтез нових полімерів і створення нових технологічних виробництв). Друге є більш економічним і перспективним. Технічно воно може бути реалізовано за допомогою модифікування полімерів. Модифікування полімерів – це спрямована зміна фізико-хімічних, механічних або хімічних властивостей полімерів (рис. 1.4) [20]. композитних структур якраз і визначають актуальність даних досліджень.

1. Структурне – модифікування фізико-механічних властивостей без зміни хімічного складу полімеру і його молекулярної маси, тобто зміна НМС полімеру. До структурного модифікування ПТФЕ належать механічна активація, ударно-хвильова обробка, радіаційне опромінення, використання магнітних та електромагнітних полів тощо [21-25].

2. Здійснюване введенням в полімер речовин, здатних з ним взаємодіяти, в тому числі і високомолекулярних (пластифікація, стабілізація, наповнення). До останнього відноситься введення в ПТФЕ різних твердих компонентів [26, 27]; матричне модифікування активуючими добавками різного розміру, форми і властивостей [22, 29]; створення нанофазних матриць з істотно відмінними характеристиками [28].

3. Хімічне – вплив на полімер хімічних або фізичних агентів, що супроводжується зміною хімічного складу полімеру і (або) його

молекулярної маси, а також введення на стадії синтезу невеликої кількості речовини, яка вступає з основним мономером в сополімеризацію або сополіконденсацію. Це, зокрема, синтез полімерних матриць різного складу і будови [30, 31]; утворення сумішей поєднанням полімерів і олігомерів [29] тощо.



Рисунок 1.4 – Основні способи модифікування ПТФЕ

Керамічні матриці. В даний час розрізняють звичайну і технічну кераміку. До складу звичайної кераміки входять силікати (SiO_2), тому промисловість, що випускає звичайну кераміку, називають силікатною. У техніці використовується кераміка спеціального призначення (технічна кераміка), до складу якої входять різні оксиди, карбіди, нітриди, бориди, силіциди, сульфіді. Відомі приклади розробки кераміки змішаного типу. Наприклад, на основі двох типів кераміки - іонної оксидної Al_2O_3 і ковалентного безкисневого Si_3N_4 - створений ефективний матеріал, сіалон, загальна формула $\text{Si}_{6-x}\text{Al}_x\text{N}_{8-x}\text{O}_x$, з якого виготовлені дослідні зразки блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання, газотурбінних лопаток. У деяких випадках до класу керамічних матеріалів умовно відносять і

матеріали, звані кермет - керамікометалічні матеріали типу оксид алюмінію - метал (наприклад хром). Крім оксиду алюмінію можуть бути використані оксиди магнію, берилію, титану, цирконію, хрому та інших елементів. Металевою складовою слугує нікель, кобальт, залізо, деякі металеві сплави. Іноді під керамікою розуміють тверда речовина, що характеризується неметалевою природою зв'язку і неpolімерною структурою, тобто керамікою є все, що не є металом і полімером.

Волокнисті композиційні матеріали. Волокнисті композити мають найчастіше пластичну матрицю, армовану високоміцними волокнами, дротом або кристалами у формі ниток. У цих композитах основні напруги сприймається волокнами уздовж композиту. Волокна забезпечують міцність і жорсткість композиту у напрямку розташування волокон. Механічні властивості і механізм руйнування композиту визначаються співвідношенням трьох параметрів: 1) міцністю волокон; 2) міцністю і жорсткості матриці; 3) міцністю зв'язку волокно-матриця. Волокнисті композити можна класифікувати за природою компонентів і по типу наповнювача, а також їх розташуванню в матриці. Таким чином, за своєю природою матриці композиту можна виділяти композиційні матеріали на основі полімерів або так званих пластиків; металів і їх сплавів; кераміки; вуглецю. За природою арматури композитів можна виділити наступну класифікацію: склопластики, вуглепластики, боропластики, органопластики, полімери наповнені порошками[32].

1.3.4 Композитні матеріали для торцевих-механічних ущільнень

Торцеві ущільнення в різних машинах і установках працюють у широкому діапазоні швидкостей (1...150 м/с), навантажень (0,5...3 МПа) і температур (-50...+500°C). Для виготовлення нерухомих кілець торцевих ущільнень застосовують графітові матеріали, а для обертових елементів ущільнення – термічно оброблені сталі, чавуни, бронзи, стеліт, композитні матеріали, керамічні покриття та ін. Однак графітові матеріали у ряді

випадків не забезпечують надійної роботи ущільнень через низьку міцність графіту, підвищене зношування під час роботи у вакуумі і нейтральних газах, а також в умовах руйнування під дією вібрацій, утворення електролітичних активних пар, що викликає інтенсивне зношування графіту і металу. Для виготовлення елементів торцевих ущільнень перспективні композитні матеріали, виготовлені методом порошкової металургії. Вибір матеріалу визначається умовами роботи вузла тертя і характером ущільнювача рідких або газових середовищ, у контакті з якими він працює. Для кожного конкретного випадку матеріал ущільнень має відповідати таким основним вимогам: низькі значення коефіцієнта тертя; висока зносостійкість; корозійна стійкість у робочих середовищах; задовільна припрацьовуваність; достатня механічна міцність; мала проникність. Торцеві ущільнювачі виготовляють з матеріалів, працездатних за підвищених і високих швидкостей ковзання і температур, що мають необхідні корозійну стійкість і густину.

До групи ущільнювальних матеріалів належать матеріали з високим вмістом графіту, у яких для їх зміцнення і зниження крихкості вводиться пластичний метал або сплав. Для торцевих ущільнень використовують також спечені матеріали на основі заліза, нікелю, міді й інших металів, що містять легувальні та антифрикційні присадки. Такого типу матеріали застосовують переважно для ущільнення газових і рідких середовищ з підвищеними температурами.

Тому в якості основного компоненту композиційного матеріалу для нашої роботи було обрано фторопласт Ф4 (ГОСТ 10007-80) - порошок білого кольору з насипною густиною 0,2-0,3 г/см³ (табл. 1.2), який призначається для виготовлення виробів методом прямого пресування або спікання.

Таблиця 1.2-Властивості фторопласту Ф4

Щільність, г/см ³	2,12-2,2
Відносне подовження при розриві %	250-500
Твердість по Бринеллю, МПа	29,4-39,2

Коефіцієнт тертя	0,04
Робоча температура, К -максимальна/мінімальна	533/4

В якості наповнювача виступили:

- часточки термічно розширеного графіту (ТРГ) товщина 0,25-0,32 мм, довжиною 1,5-3 мм. Унікальне поєднання експлуаційних властивостей ТРГ, таких як широкий діапазон робочих температур, висока хімічна стійкість, чудова ущільнююча здатність, сприяють стійкому зростанню споживання ущільнень на його основі багатьма галузями промисловості [8];
- графіт сріблястий (ГОСТ 5279-74) - природний мінерал, що володіє безліччю унікальних властивостей, вогнетривкість, електропровідність, хімічна стійкість, низька твердість, пластичність, жирність, антипригарність, діамагнітність.

Таблиця 1.3-Склад композиційного матеріалу

Вміст, масс. %		
Основний компонент	Наповнювач	
Фторопласт Ф4	Графіт сріблястий	Термічно розширений графіт
82	15	3

В даній роботі буде проведено порівняння композиту фторопласту Ф4 з іншим типовим матеріалом кілець торцевого-механічного ущільнення, такий як графіт .

1.4 Висновки

У даному розділі розглянуто принцип роботи, переваги та недоліки торцевих механічних ущільнень. Проаналізовано різновиди матеріалів пари

тертя торцевих механічних ущільнень. Особливу увагу приділено композиційним матеріалом, які можуть використовуватися в якості альтернативи традиційним матеріалам з яких виготовляються кільця торцевих ущільнень.

2 ЧИСЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ТОРЦЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ З ПАРОЮ ТЕРТЯ «СТАЛЬ - ПТФЕ КОМПОЗИТ» ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS Student

2.1 Опис програмного комплексу ANSYS Student

Багато задач, з якими доводиться в даний час стикатися дослідникам і інженерам, не піддаються аналітичному рішенню або вимагають величезних витрат на експериментальну реалізацію. Прогрес в розробці чисельних методів та комп'ютерного моделювання дозволив істотно розширити коло завдань, доступних аналізу. Отримані на основі цих методів результати використовуються практично у всіх областях науки і техніки.

Метод скінченних елементів (МСЕ) є потужним, надійним і сучасним засобом дослідження поведінки конструкцій в умовах різноманітних впливів. Програма ANSYS, яка використовує МСЕ, широко відома і користується популярністю серед інженерів, які займаються вирішенням питань міцності. Матеріали ANSYS дозволяють проводити розрахунки статичного і динамічного напружено-деформованого стану конструкцій, в тому числі геометрично і фізично нелінійних задач механіки деформованого твердого тіла. Це дозволяє вирішити широке коло інженерних задач.

Первинними змінними, які обчислюються в ході конструкційного аналізу в ANSYS, є вузлові переміщення. Далі, виходячи з обчислених переміщень у вузлах сітки, визначаються інші важливі параметри: переміщення конструкції, напруги, деформація, реакції та ін.

ANSYS/ Mechanical надає широкі можливості для виконання проектних розробок, аналізу та оптимізації: рішення складних задач міцності конструкцій, теплопередачі і акустики. Ця програма, що забезпечує перевірку правильності проектних робіт, є потужним інструментом для визначення переміщень, напруг, зусиль, температур і тисків, а також інших важливих параметрів [35].

2.2 Вхідні дані та послідовність розрахунку

1. Вихідні дані:

Ущільнюваний тиск – 0,4; 0,6; 1,0 МПа.

$\omega = 3000; 4500; 10000$ об/хв. – частота обертання;

2. Геометричні розміри кілець ущільнення:

$r_1 = 0,0518$ м – внутрішній радіус кілець;

$r_2 = 0,067$ м – розмірність для всіх кілець розрахунку.

Матеріали: графіт, композит фторопласт Ф4

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні властивості матеріалів

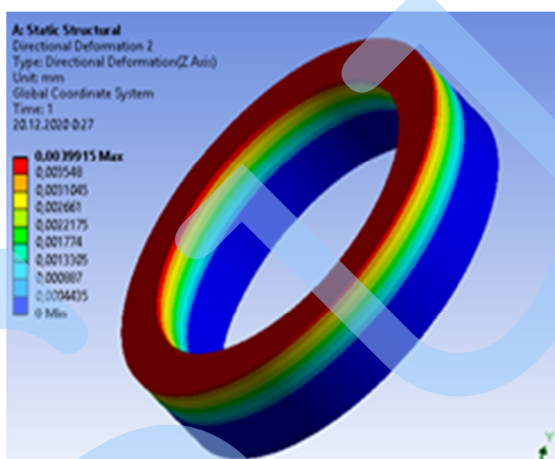
Матеріал	Графіт	Композит фторопласт Ф4
Щільність кг/м ³	2250	2120
Модуль пружності E, МПа	8800	612
Коефіцієнт Пуасона, μ	0.2	0.32
Модуль об'ємного стиснення, К МПа	4888.9	566.7
Модуль здвигу, G МПа	3666.7	231.8
Межа текучесті, σ МПа	14.2	27.5

Для створення розрахункової моделі ущільнення в програмі ANSYS MECHANICAL Student використовувалася схема, наведена на рисунку 2.1.

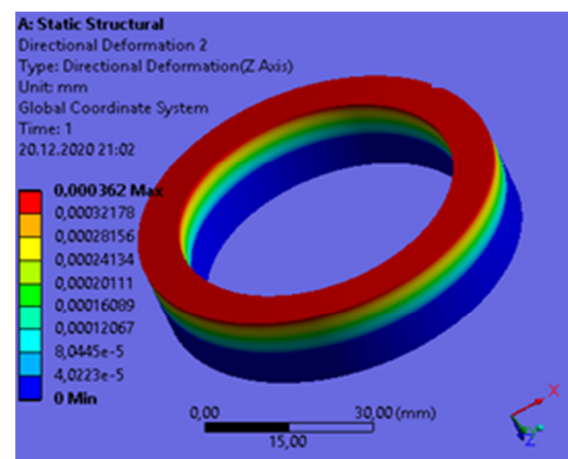


Рисунок 2.1 – Схема розрахунку в програмному комплексі ANSYS MECHANICAL

2.3 Результати розрахунків



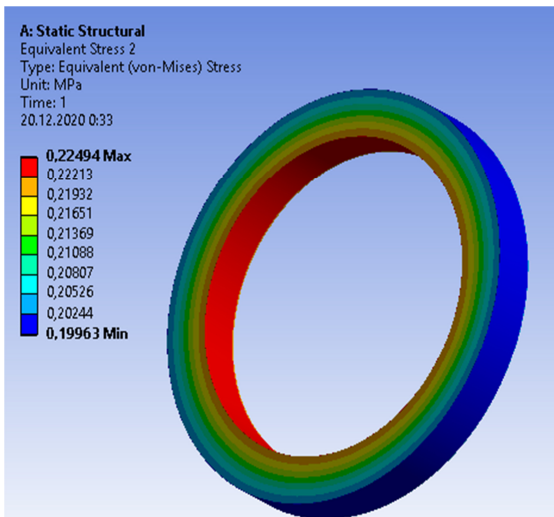
а)



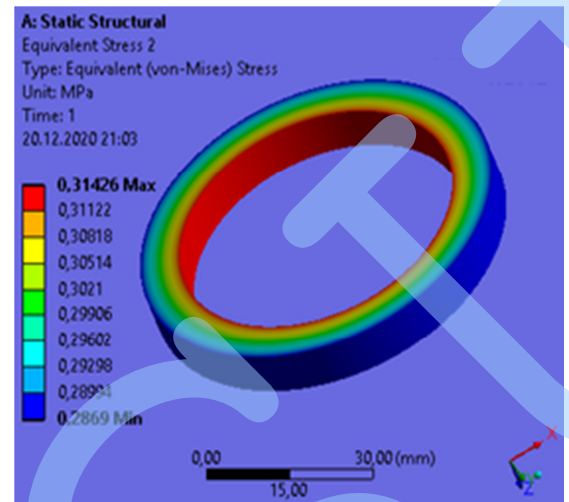
б)

Рисунок 2.2 – Деформація кілець ущільнення ($p = 0,4$ МПа; $\omega = 3000$ об/хв):

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



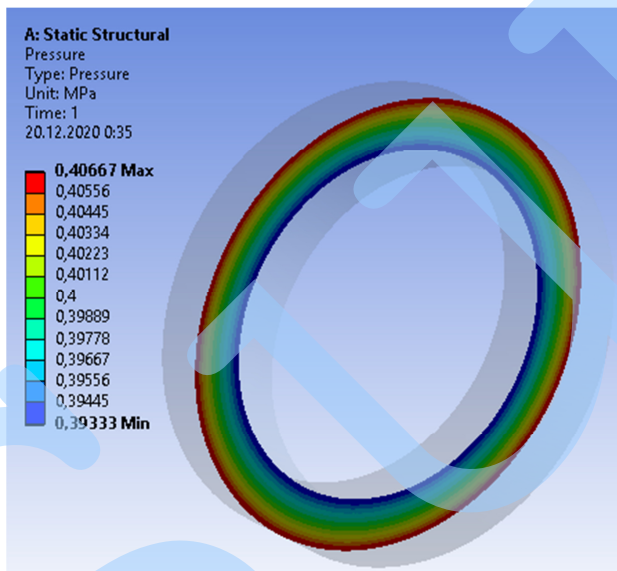
a)



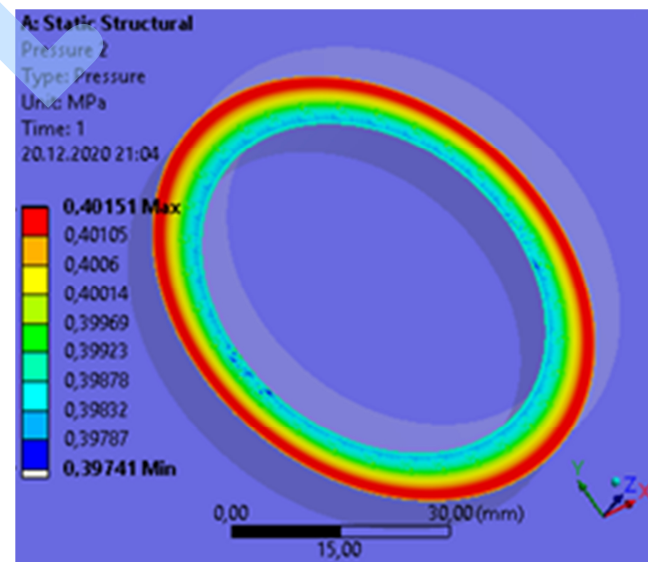
б)

Рисунок 2.3 – Еквівалентні напруження в кільце ущільнення:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



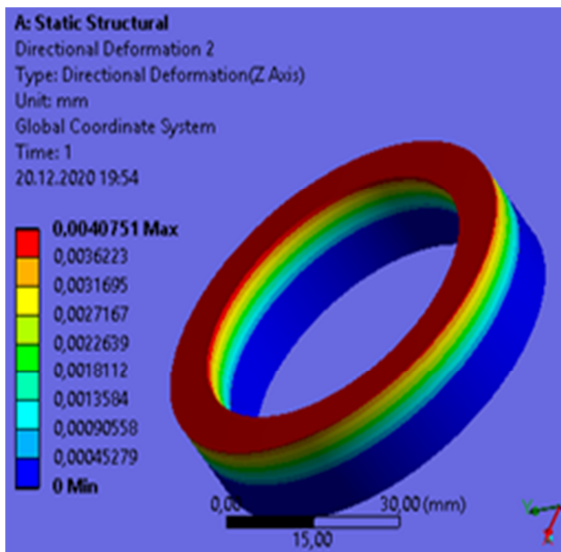
a)



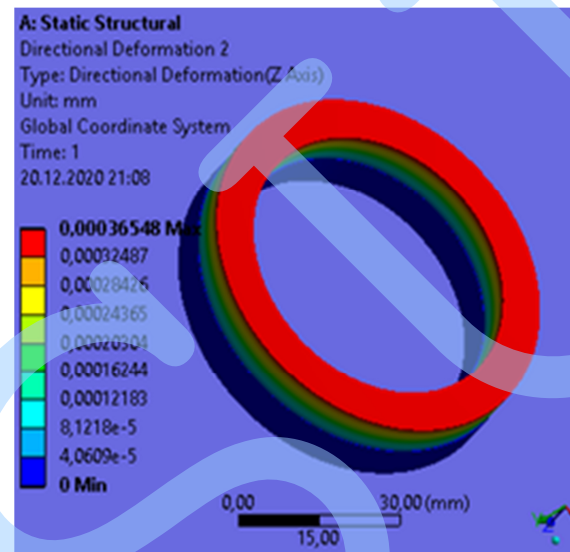
б)

Рисунок 2.4 – Контактний тиск в парі тертя:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



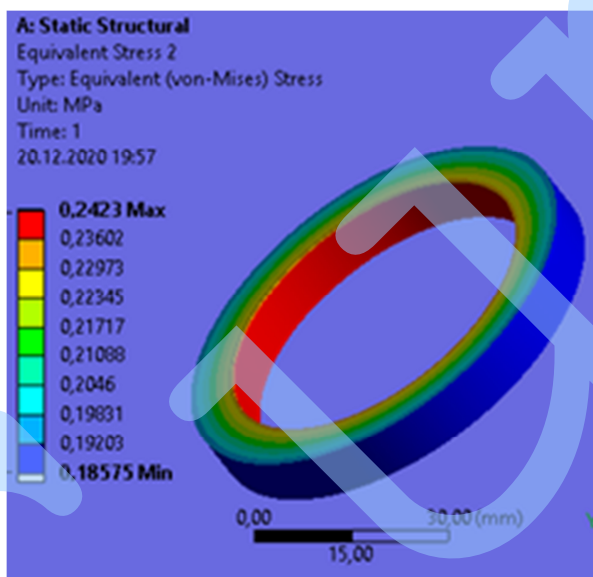
а)



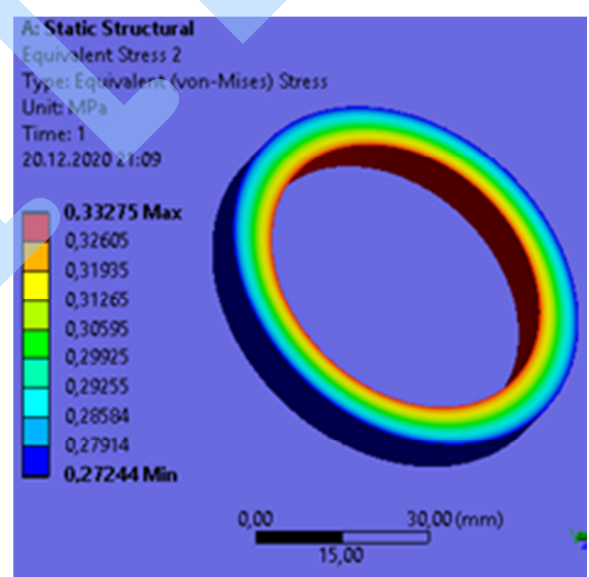
б)

Рисунок 2.5 – Деформація кільце ущільнення ($p = 0,4 \text{ МПа}$; $\omega = 4500 \text{ об/хв}$):

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



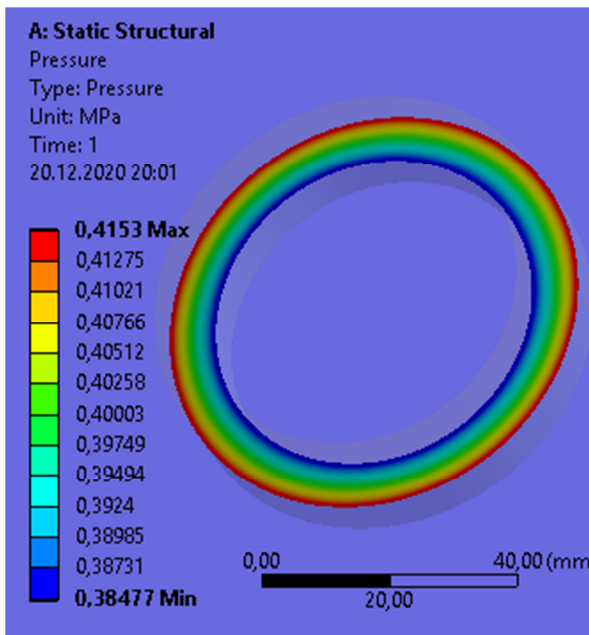
а)



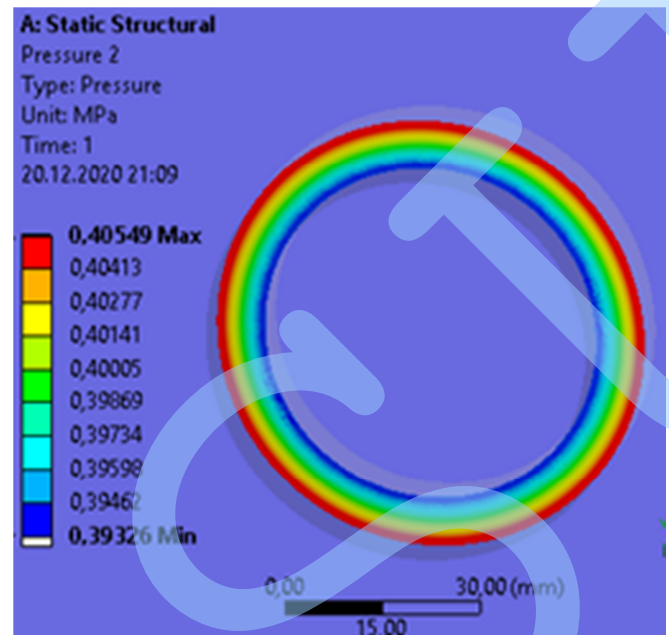
б)

Рисунок 2.6 – Еквівалентні напруження в кільце ущільнення:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



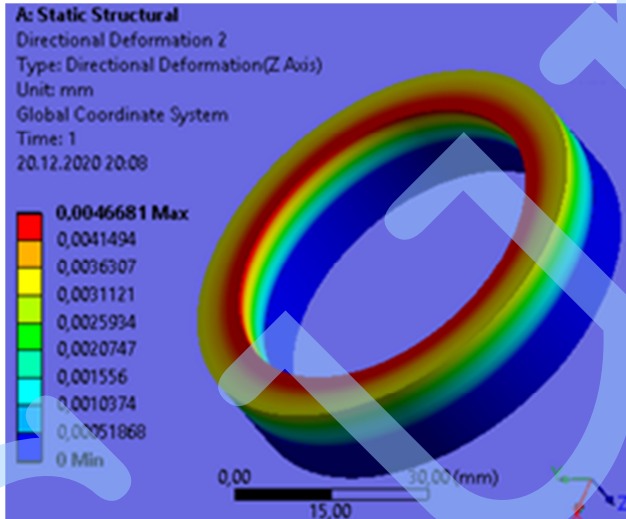
а)



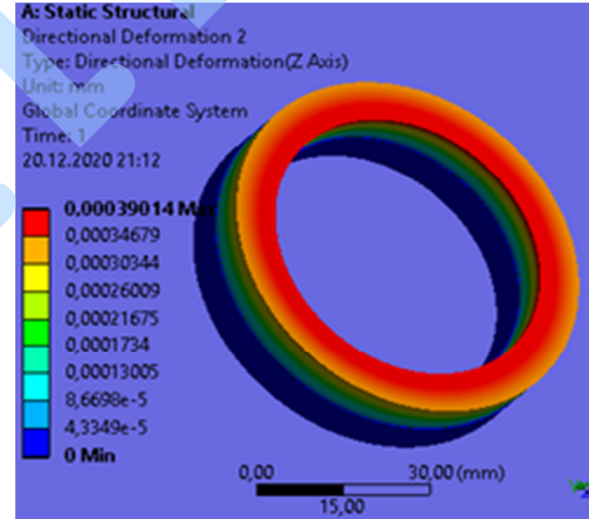
б)

Рисунок 2.7 – Контактний тиск в парі тертя:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



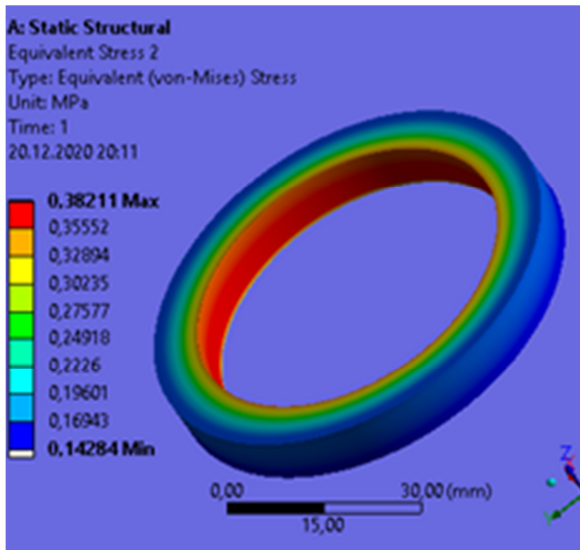
а)



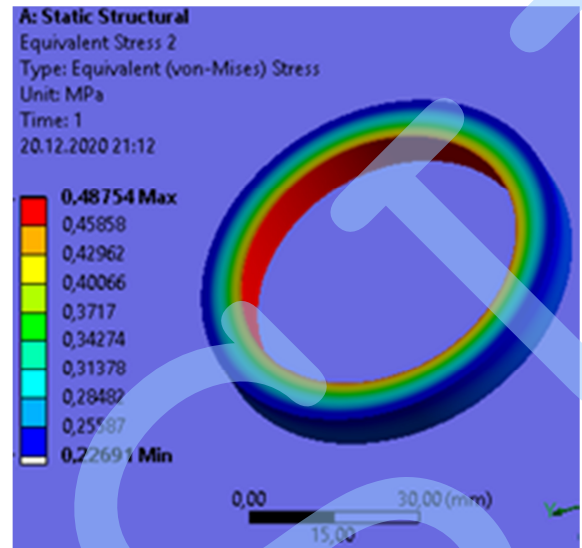
б)

Рисунок 2.8 – Деформація кільця ущільнення ($p = 0,4$ МПа; $\omega = 10000$ об/хв):

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



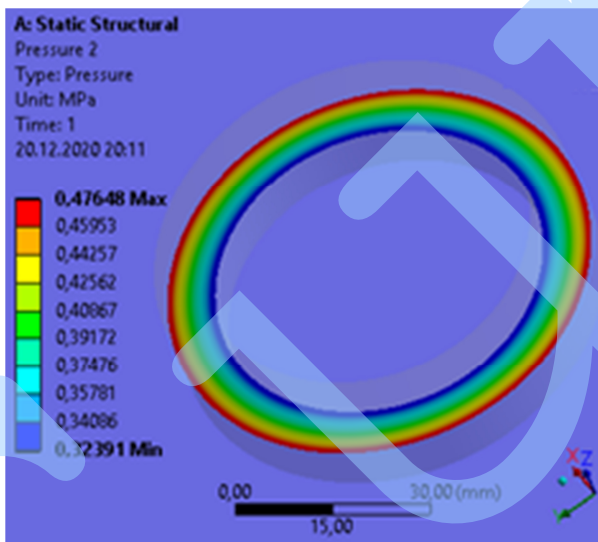
а)



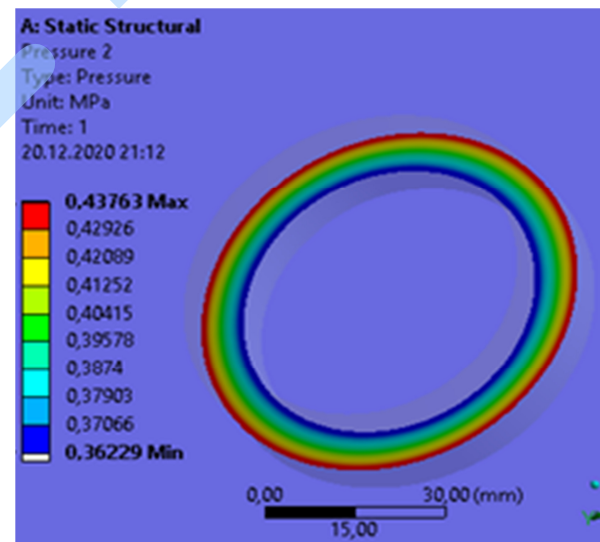
б)

Рисунок 2.9 – Еквівалентні напруження в кільце ущільнення:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



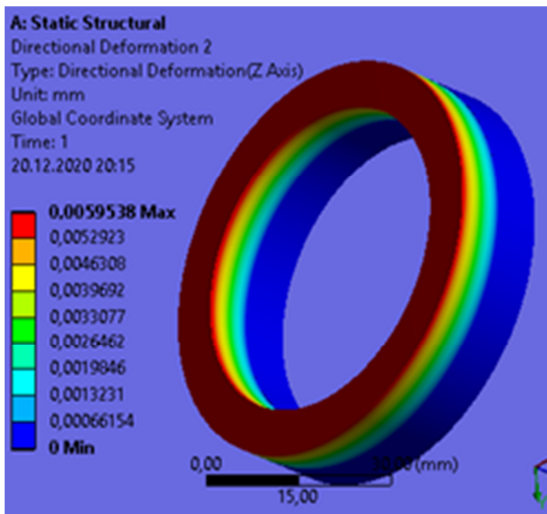
а)



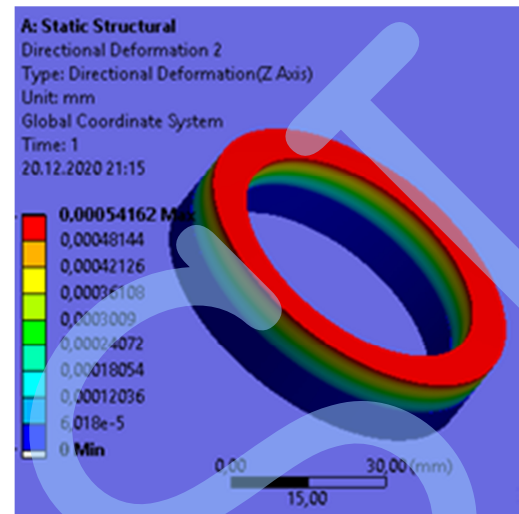
б)

Рисунок 2.10 – Контактний тиск в парі тертя:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



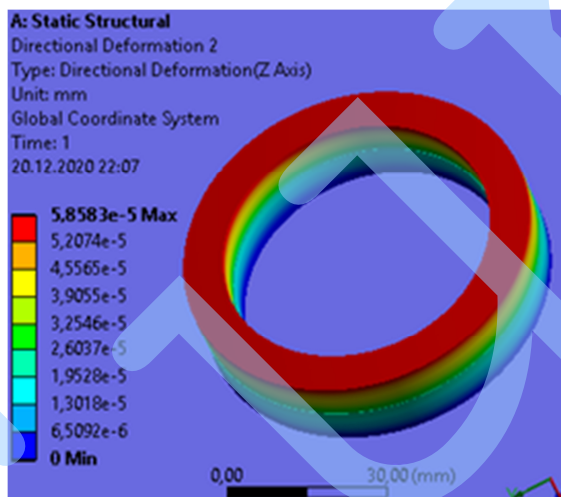
а)



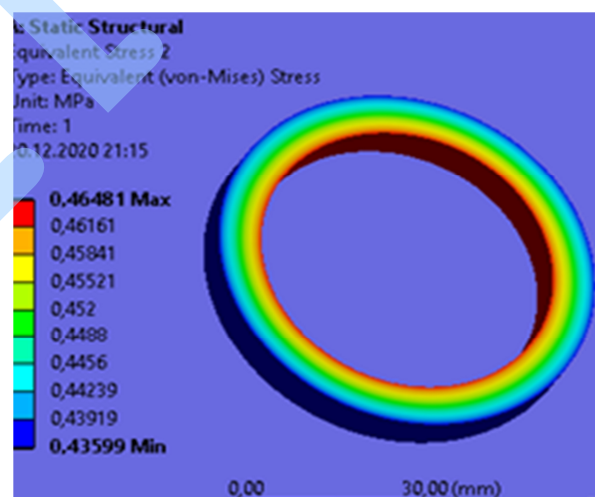
б)

Рисунок 2.11 – Деформація кільця ущільнення ($p = 0,6$ МПа; $\omega = 3000$ об/хв):

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



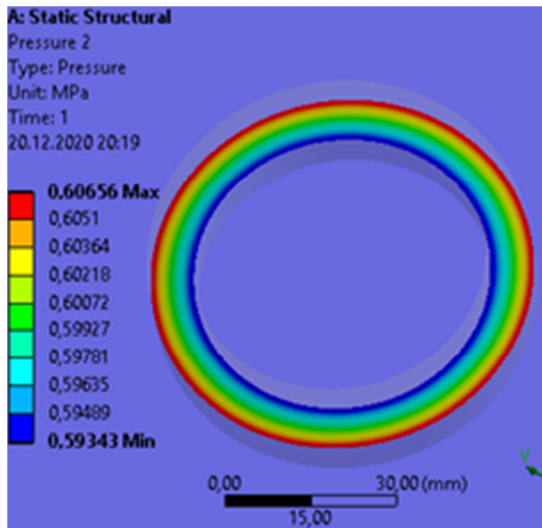
а)



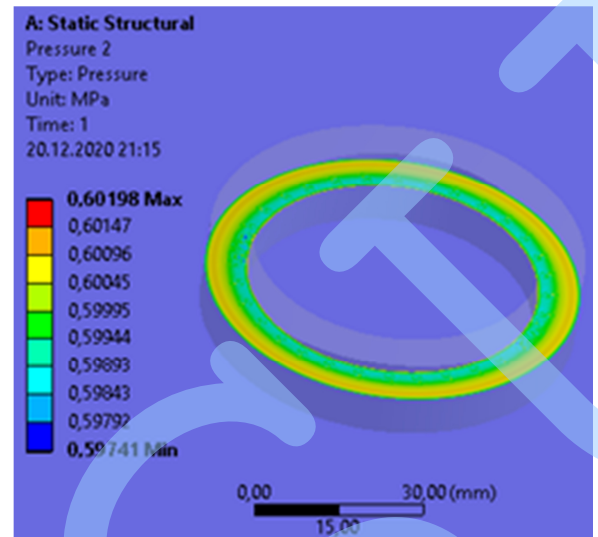
б)

Рисунок 2.12 – Еквівалентні напруження в кільце ущільнення:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



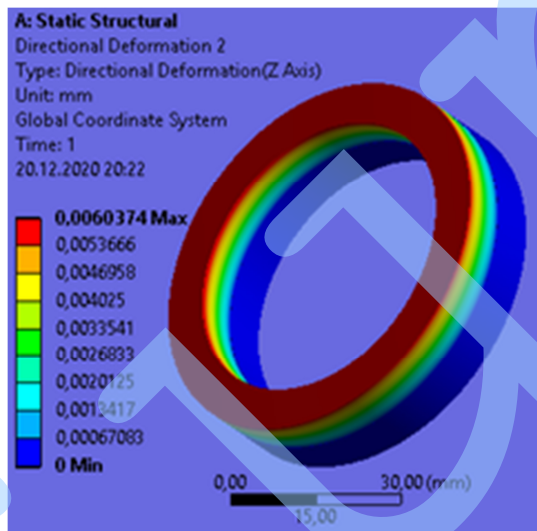
а)



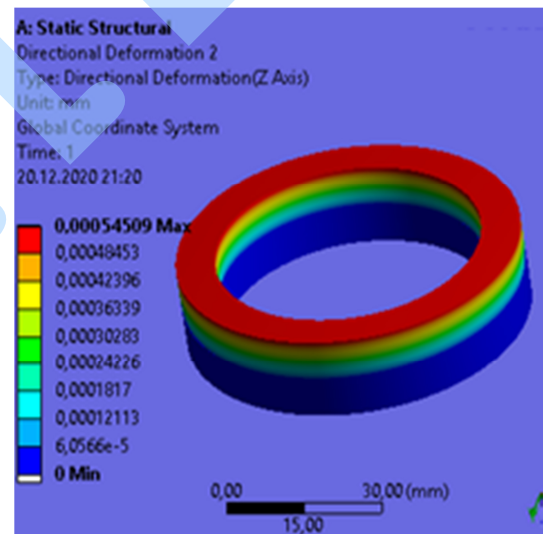
б)

Рисунок 2.13 – Контактний тиск в парі тертя:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



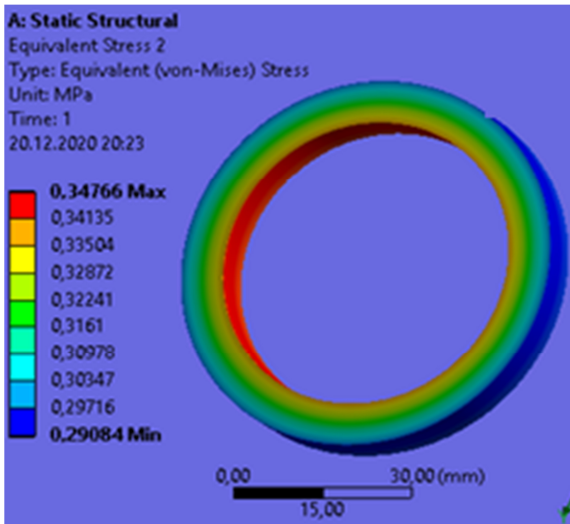
а)



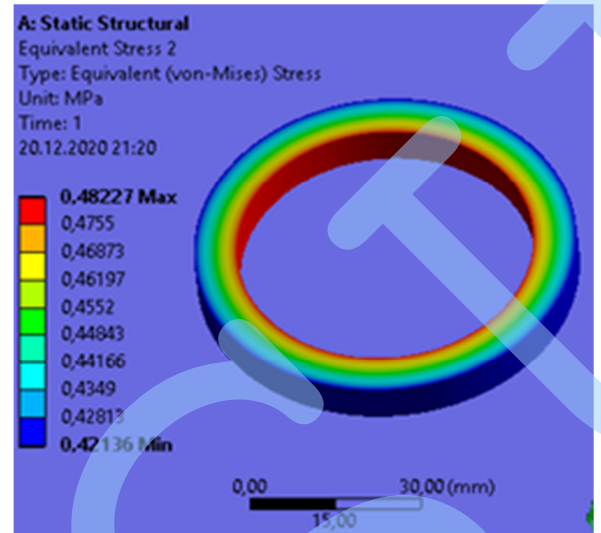
б)

Рисунок 2.14 – Деформація кілець ущільнення ($p = 0,6$ МПа; $\omega = 4500$ об/хв):

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



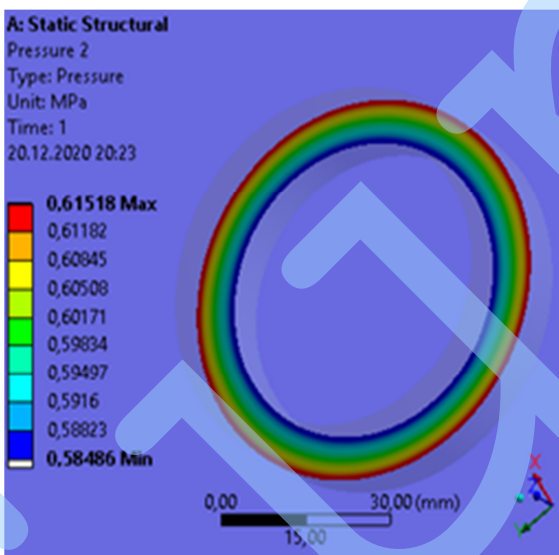
a)



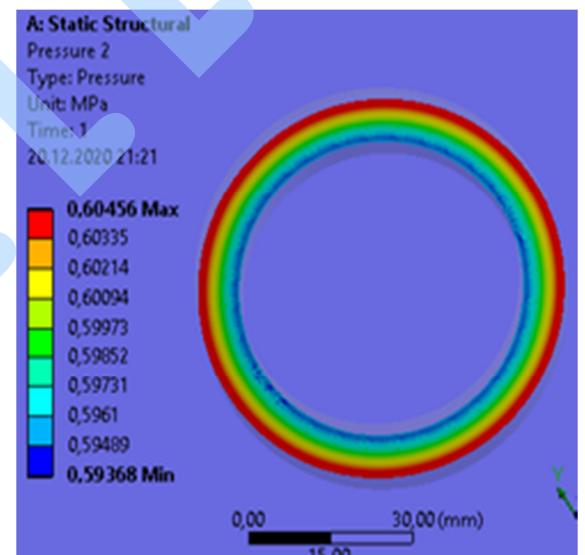
б)

Рисунок 2.15 – Еквівалентні напруження в кільце:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



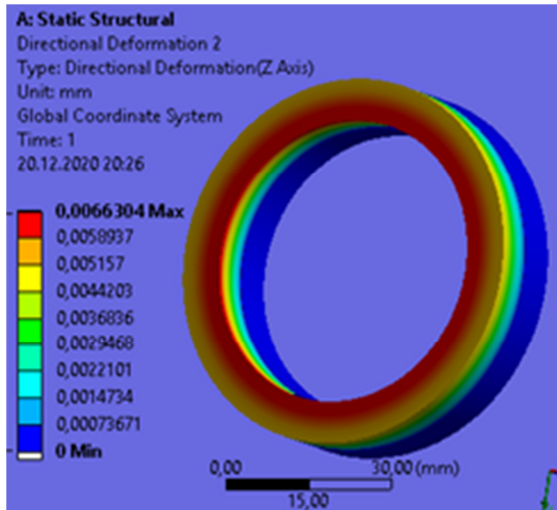
а)



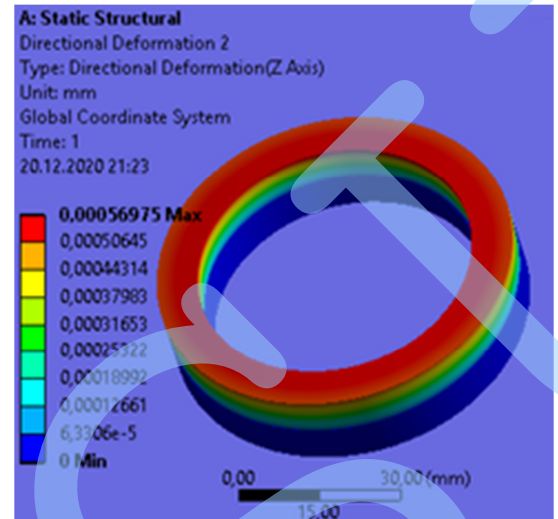
б)

Рисунок 2.16 – Контактний тиск в парі тертя:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



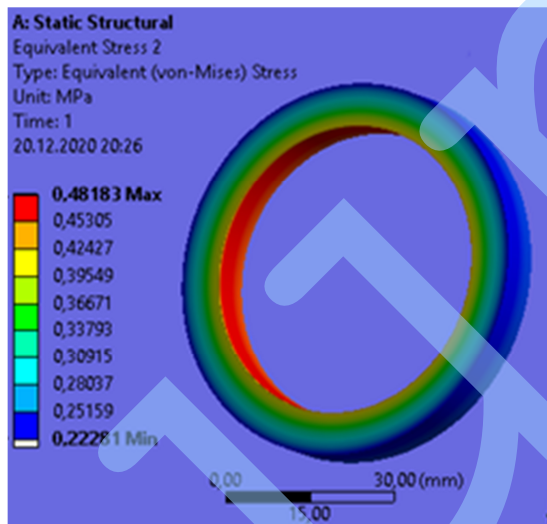
а)



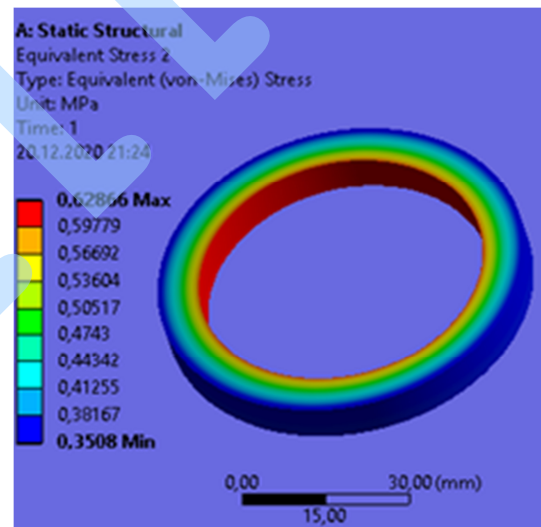
б)

Рисунок 2.17 – Деформація кільце ущільнення ($p = 0,6 \text{ МПа}$; $\omega = 10000 \text{ об/хв}$):

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



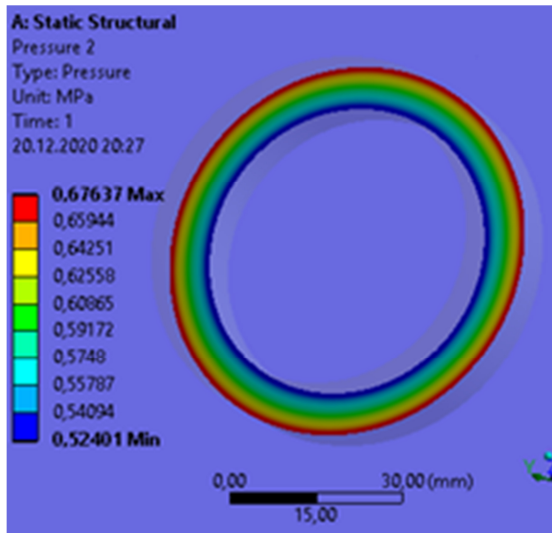
а)



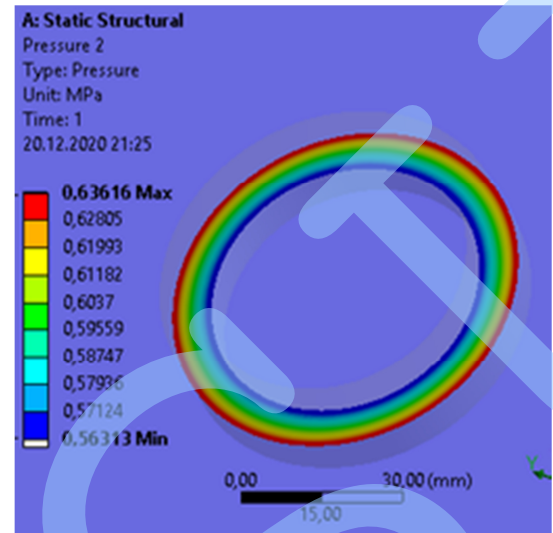
б)

Рисунок 2.18 – Еквівалентні напруження в кільце ущільнення:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



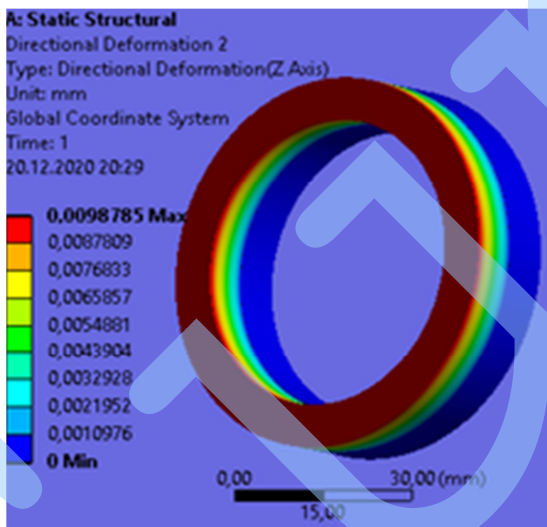
a)



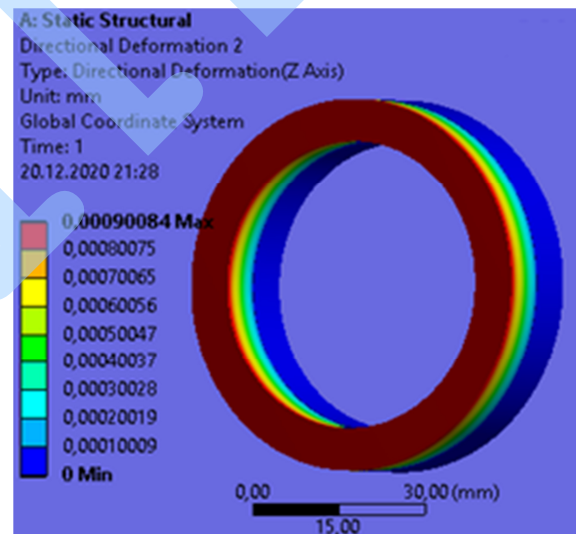
б)

Рисунок 2.19 – Контактний тиск в парі тертя:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



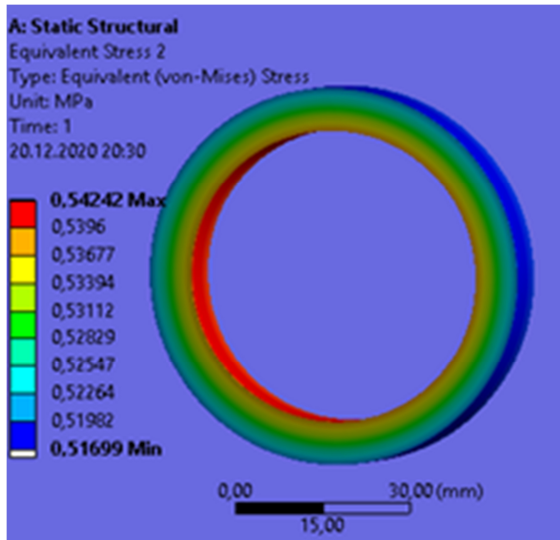
а)



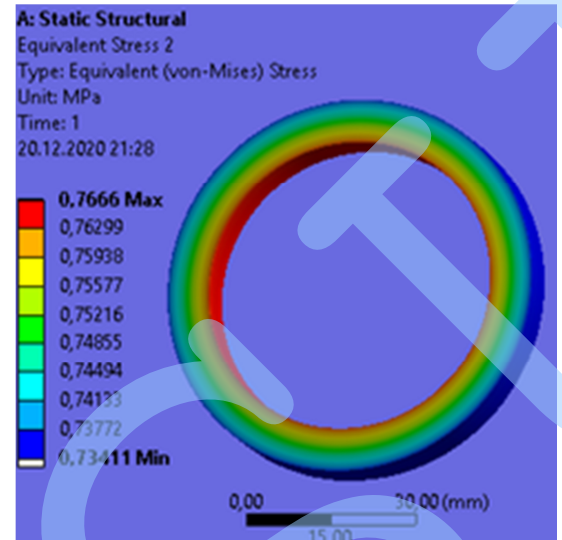
б)

Рисунок 2.20 – Деформація кілець ущільнення ($p = 1$ МПа; $\omega = 3000$ об/хв):

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



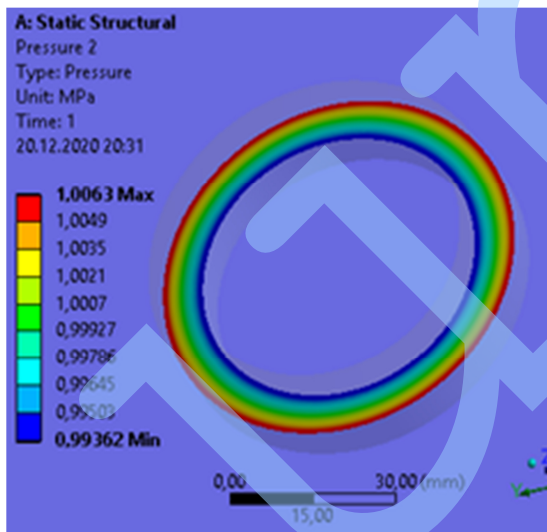
а)



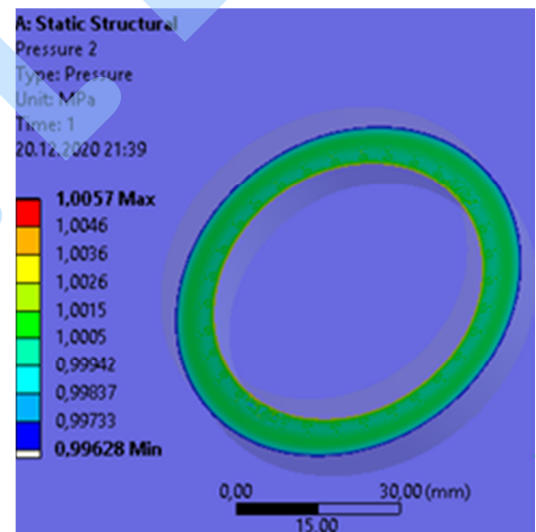
б)

Рисунок 2.21 – Еквівалентні напруження в кільце ущільнення:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



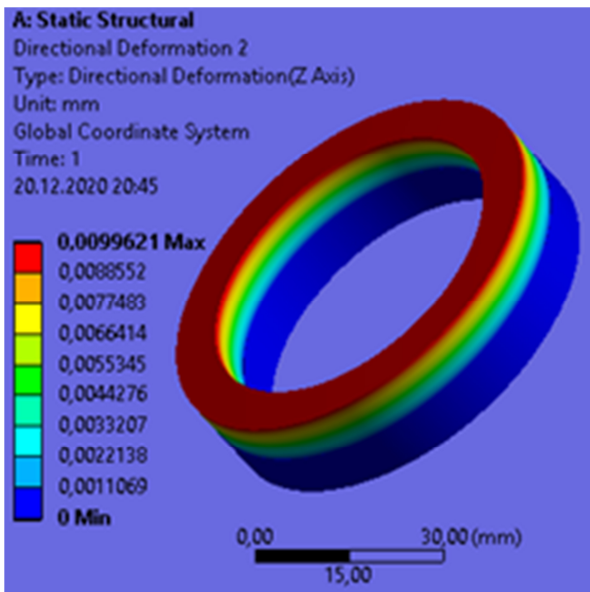
а)



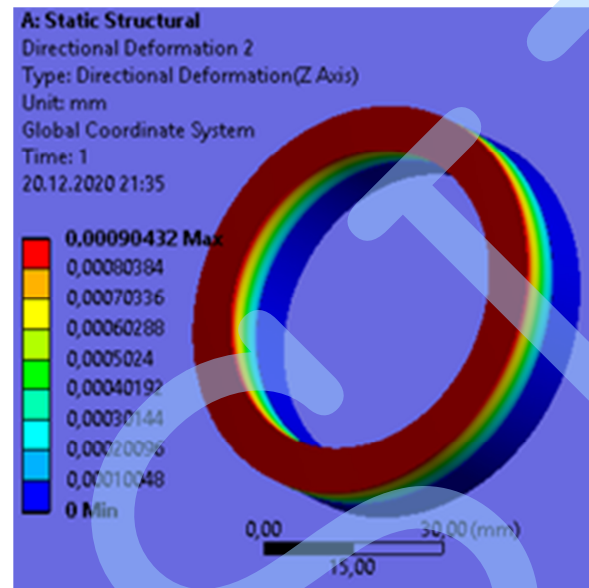
б)

Рисунок 2.22 – Контактний тиск в парі тертя:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



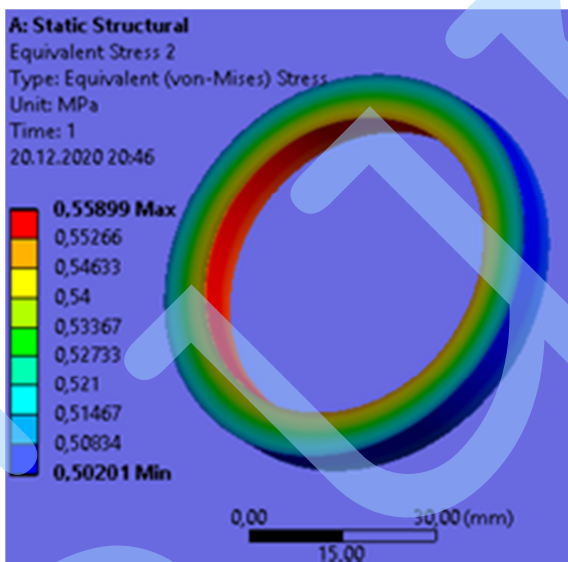
a)



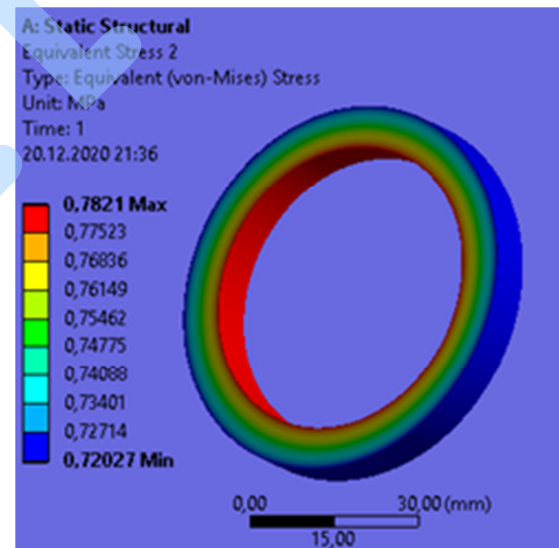
б)

Рисунок 2.23 – Деформація кільця ущільнення ($p = 1 \text{ МПа}$; $\omega = 4500 \text{ об/хв}$):

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



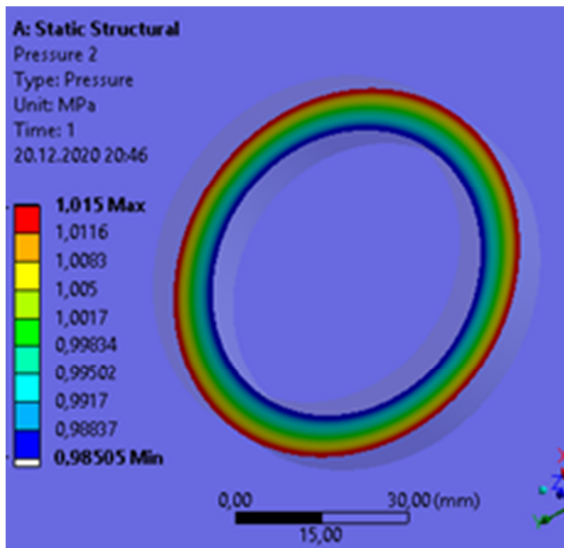
a)



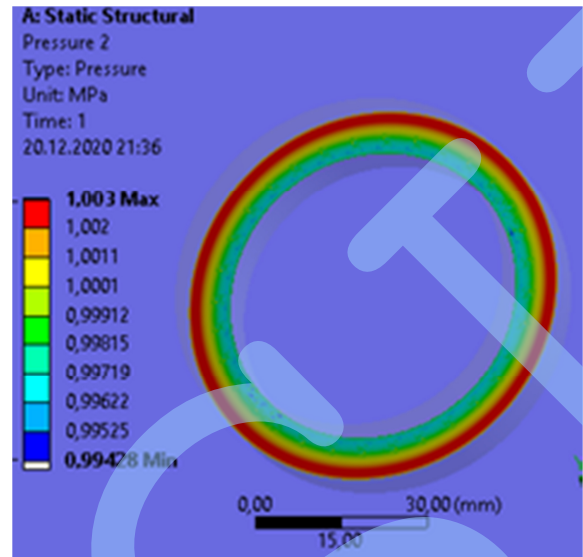
б)

Рисунок 2.24 – Еквівалентні напруження в кільце ущільнення:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



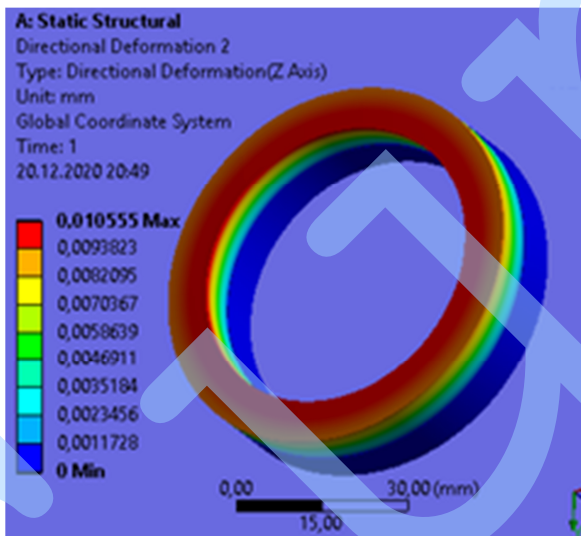
а)



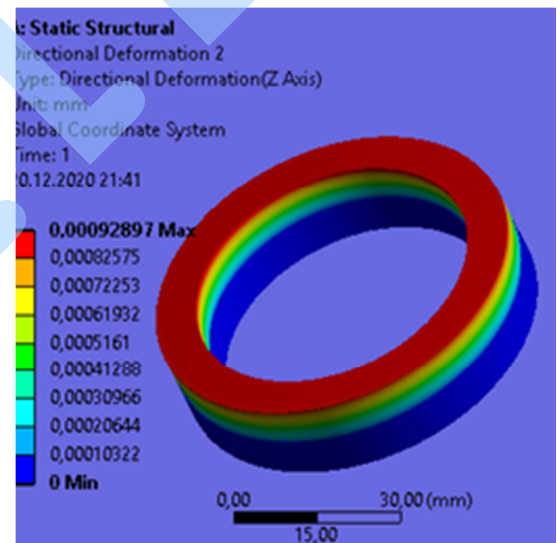
б)

Рисунок 2.25 – Контактний тиск в парі тертя:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



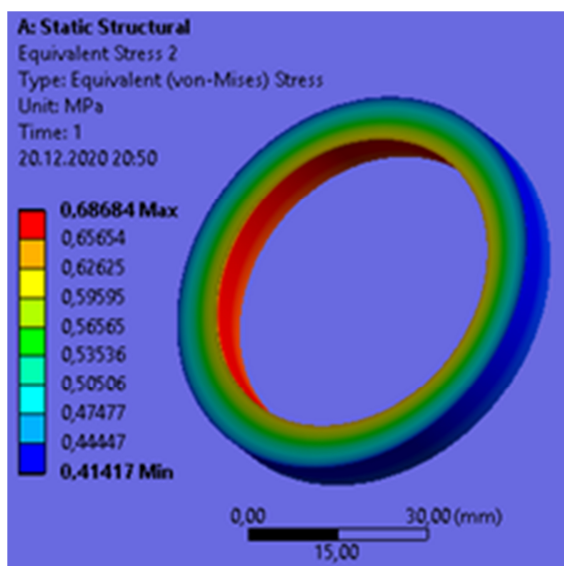
а)



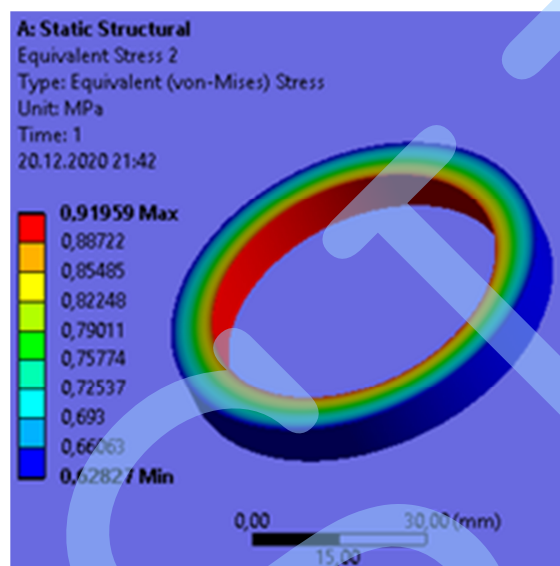
б)

Рисунок 2.26 – Деформація кілець ущільнення ($p = 1$ МПа; $\omega = 10000$ об/хв):

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



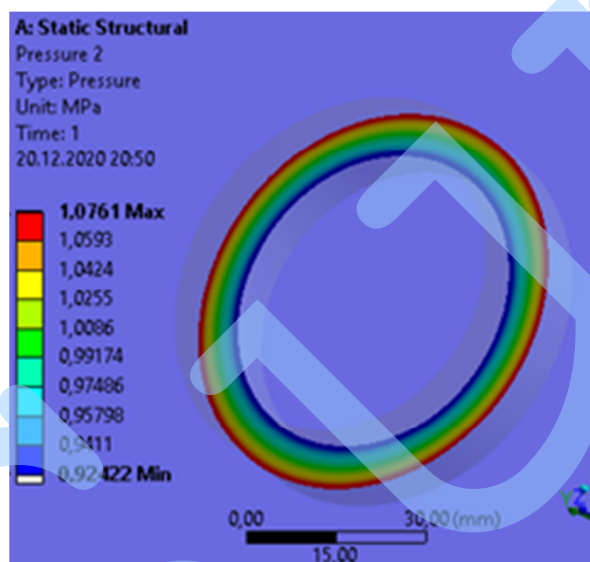
a)



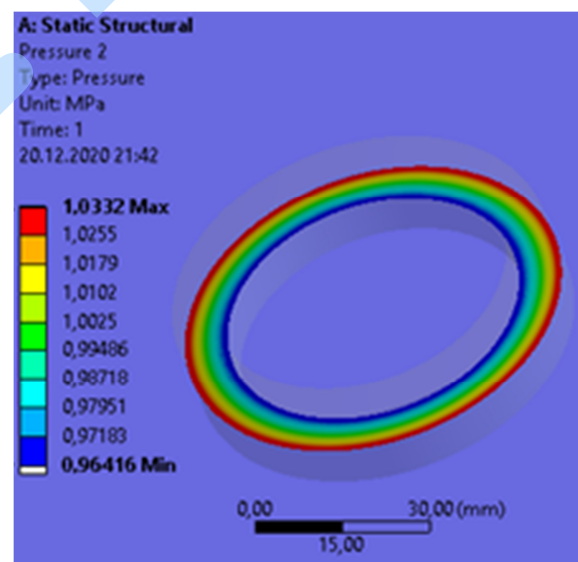
б)

Рисунок 2.27 – Еквівалентні напруження в кільце ущільнення:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт



a)



б)

Рисунок 2.28 – Контактний тиск в парі тертя:

а) композит фторопласт Ф4; б) графіт

2.4 Висновки

В даному розділі за допомогою програмного комплексу ANSYS Student виконаний розрахунок напружено-деформованого стану кілець торцевого ущільнення виконаних з різних матеріалів. Отримано розподіл контактного тиску в парі тертя, напруження та деформації кілець ущільнення.

Аналіз результатів розрахунку дає підставу стверджувати, що при однакових навантаженнях торцеве ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит» за міцнісними характеристиками не поступається парі тертя «Сталь - графіт».

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОРЦЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ З ПАРОЮ ТЕРТЯ «СТАЛЬ-ПТФЕ КОМПЗИТ»

Експериментальний стенд працює наступним чином: з бака 1 через фільтр 2 і гаситель пульсацій 4 плунжерним насосом 3 ущільнюється рідина під тиском $0,4..2,0$ МПа подавалася в корпус експериментальної установки, виконаної на базі відцентрового консольного насоса, в яку монтувався досліджуваний вузол ущільнення 6. Вал експериментальної установки приводився в обертання асинхронним двигуном змінного струму потужністю 11 кВт, а частота обертання регулювалася за допомогою перетворювача частоти 8 в діапазоні $0..3000$ об/хв. Тиск ущільнюваної рідини $p1$ перед ущільненням контролювалося манометром 5, величина протікання через ущільнення в різні моменти часу протягом випробувань вимірювалася мірної ємністю 7, а температура обойми ущільнення датчиком температури 9 [36].

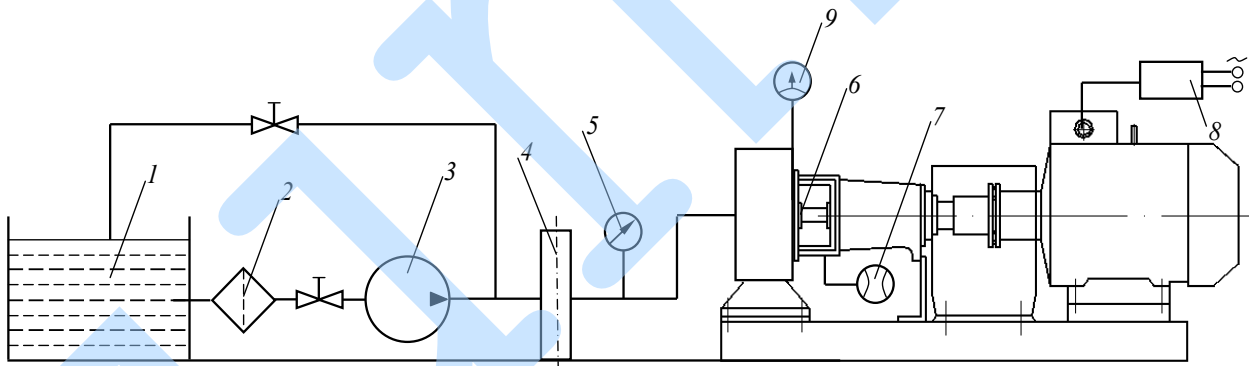


Рисунок 3.1 – Схема експериментального стенду

Попереднє стиснення кілець ущільнення 1 та 2 здійснюється пружними елементами 3. Механізм роботи ущільнення полягає в наступному, під дією тиску ущільнюваного середовища аксіально-рухома втулка 2 підтискається до кільця (ПТФЕ композит) 1 тим самим перешкоджаючи витокам ущільнювального середовища.

Випробування проводилися при наступних параметрах:

- ущільнюючий тиск $p_1 = 0,4 \text{ МПа}$;
- швидкість ковзання в парі тертя $v = 6,5 \text{ м/с}$;
- ущільнювальна рідина - вода.

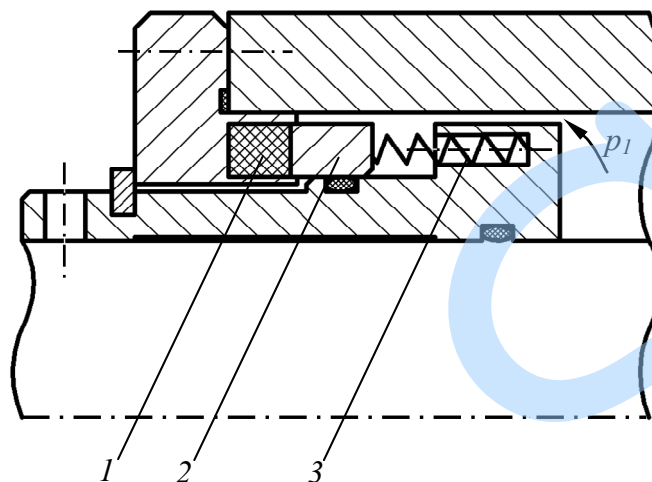


Рисунок 3.2 – Конструкція досліджуваного торцевого ущільнення

Послідовність проведення експериментальних досліджень торцевого ущільнень з парою тертя «Сталь-ПТФЕ композит» полягає в наступному:

- 1) відповідно до правил монтажу вирізається і встановлюється с ущільнювальний вузол;
- 2) протягом 2-3 годин здійснюється припрацювання пари тертя для усунення первісної хвилястості та шорсткості кільця ущільнення;
- 3) виконуються випробування ущільнення: вимірюються витіки через ущільнення;

Візуальний огляд кільця ущільнення показав незначний знос торцевої поверхні кільця 1 (рис.3.3). Протікання через ущільнення складала 5 мл / год

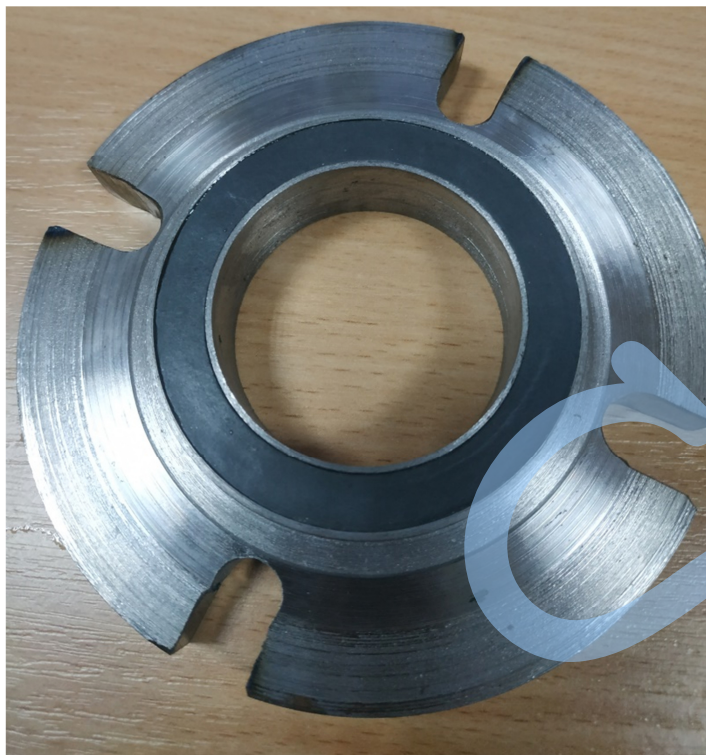


Рисунок 3.3 – Торцева поверхня кільця ущільнення виготовленого з ПТФЕ композиту

Отримані результати дозволяють стверджувати про ефективність конструкції торцевого ущільнення з парою тертя «Сталь-ПТФЕ композит».

Ущільнювальний вузол гарантовано може використовуватися при відносно невеликих ущільнювальних тисках та частоті обертання.

ВИСНОВОК

У роботі розглянуто принцип роботи, переваги та недоліки торцевих механічних ущільнень. Проаналізовано різновиди матеріалів пари тертя торцевих механічних ущільнень. Особливу увагу приділено композиційним матеріалом, які можуть використовуватися в якості альтернативи традиційним матеріалам з яких виготовляються кільця торцевих ущільнень.

За допомогою програмного комплексу ANSYS Student виконаний розрахунок напружено-деформованого стану кілець торцевого ущільнення виконаних з різних матеріалів. Отримано розподіл контактного тиску в парі тертя, напруження та деформації кілець ущільнення.

Аналіз результатів розрахунку дає підставу стверджувати, що при однакових навантаженнях торцеве ущільнення з парою тертя «Сталь - ПТФЕ композит» за міцнісними характеристиками не поступається парі тертя «Сталь - графіт».

Отримані результати експериментальних досліджень дозволяють стверджувати про ефективність конструкції торцевого ущільнення з парою тертя «Сталь-ПТФЕ композит». Ущільнювальний вузол гарантовано може використовуватися при відносно невеликих ущільнювальних тисках та частоті обертання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Голубев А. И. Торцовые уплотнения вращающихся валов / А. И. Голубев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1974. – 216 с.
2. Уплотнения и уплотнительная техника : справочник / Под общ. ред.: А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. – М. : Машиностроение, 1986. – 464 с.
3. Майер Э. Торцовые уплотнения / Э. Майер; пер. с нем. – М. : Машиностроение. – 1978. – 288 с.
4. Марцинковский В. А. Бесконтактные уплотнения роторных машин / В. А. Марцинковский. — М. : Машиностроение, 1980. — 200 с.
5. Марцинковский В. А. Насосы атомных электростанций / В. А. Марцинковский, П. Н. Ворона. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.
6. Гудков С. Н. Торцовые механические уплотнения с гидродинамической разгрузкой пары трения / С. Н. Гудков // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2007. – № 2. – С. 34-41.
7. Фалалеев С. В. Торцовые бесконтактные уплотнения двигателей летательных аппаратов: Основы теории и проектирования: учеб. пос. / С. В. Фалалеев, Д. Е. Чегодаев – М. : Изд-во МАИ, 1998. – 276 с.
8. Васильцов Э. А. Бесконтактные уплотнения / Э. А. Васильцов. – Л. : Машиностроение, 1974. – 160 с.
9. Ченг. Рабочие характеристики высокоскоростных бесконтактных газовых уплотнений, профилированных спиральными канавками и скрытой ступенью Рэлея / Ченг, Чоу, Кастелли // Проблемы трения и смазки. – 1969. – № 1. – С. 67–76.
10. Макаров Г. В. Уплотнительные устройства / Г. В. Макаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1973. – 232 с.
11. Цыбульник А. П. Бесконтактное торцовое уплотнение / А. П. Цыбульник // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1991. – № 9. – С. 20–21.

12. Сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sealtd.com.ua/>
13. Свирская, С.Н. Строение и классификация полимеров: метод. Пособие // С.Н. Свирская, И.Л. Трубников. – Ростов: Издво. Южного федерального университета, 2007. – 22 с.
14. Энциклопедия полимеров. В 3 т. – М. : БСЭ, 1977. – Т. 1 – 3.
15. Шевченко, В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов: учеб. пособие // В.Г. Шевченко. – М. : Издво. Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, 2010. – 98 с.
16. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учебное пособие вузов // М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин; под ред. А.А. Берлина. – Спб. : Профессия, 2008. – 560 с.
17. Л.Н. Тялина, А.М. Минаев, В.А. Пручкин Новые композиционные материалы // ГОУ ВПО ТГТУ, – 2011. – с. 6
18. Электрофизические свойства перколяционных систем /Под ред. А.Н. Лагарькова. М.: ИВТАН, 1990. 120 с.
19. Lederer P.G. An introduction to radar absorbent materials / Lederer P.G. – Malvern: Royal Signals and Radar Establishment, 1986.
20. Костин М.В. Теория искусственных магнетиков на основе кольцевых токов/ Костин М.В., Шевченко В.В. // Радиотехника и электроника. 1992. Т. 37, №11. 1922-2003.
21. Булгаков А.А. Дисперсионные свойства периодической полупроводниковой структуры в магнитном поле, направленном вдоль оси периодичности / Булгаков А.А., Кононенко В.К. // ЖТФ. 2005. Т. 73, №11. 15-21. 116
22. Особенности распространения электромагнитных волн в слоистых магнитных фотонных кристаллах / Беспятых Ю.И., Дикштейн И.Е., Мальцев В.П. и др. // ФТТ. 2003. Т. 45, №11. 2056-2061.

23. Веселаго В.Г. О формулировке принципа Ферми для света, распространяющегося в веществах с отрицательным преломлением / Веселаго В.Г. // УФН. 2002. Т. 172, №10. С1215.
24. Звездин А.К. Магнитооптика тонких пленок / Звездин А.К., Котов В.А. – М.: Наука, 1988.
25. Казанцева Н.Е. Перспективные материалы для поглотителей электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона / Казанцева Н.Е., Рывкина Н.Г., Чмутин И.А. // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48, №2. с. 196- 209.
26. Бучельников В.Д. Связанные магнитоупругие и электромагнитные волны в магнетиках вблизи точек ориентационных фазовых переходов / Бучельников В.Д., Бычков И.В., Шавров В.Г. // ФММ. 1988. Т. 66. 222-226.
27. Островский О.З. Оптимизация широкополосных неотражающих многослойных покрытий / Островский О.З, Сорока А.З., Шматько А.А. // Конференция и выставка "СВЧ-техника и спутниковый прием": Материалы конференции. – Севастополь, 1994. – С125-127.
28. Бучельников В.Д. Влияние магнитоупругой связи на отражение электромагнитной волны от ферродиелектрика / Бучельников В.Д., Бычков И.В., Шавров В.Г. // ФТТ. 1992. Т. 34, №11. 3408-3411.
29. Бабушкин А.В. Отражение электромагнитных волн от поверхности кубического ферродиелектрика / Бабушкин А.В., Бучельников В.Д., Бычков И.В. // ФТТ. 2002. Т. 44, №12. 2183.
30. Воротницкий Ю.И. Оптимальное проектирование многослойных поглотителей электромагнитных волн / Воротницкий Ю.И. // Болг. физ., ж. 1987. Т. 14, №4. с. 378-385.
31. Пономаренко А.Т., Рывкина Н.Г., Чмутин И.А. // Междунар. науч.-техн. конф. "Полимерные композиты": сб. трудов. – Гомель, 1998. – 19. 117
32. Мухин А.А. Магнитная спектроскопия антиферромагнитных диэлектриков. Редкоземельные ортоферриты / Мухин А.А., Прохоров А.З. // Труды ИОФ АН СССР. 1990. Т. 25. 162-222.

33. Шнейдерман Я.А. Новые радиопоглощающие материалы / Шнейдерман Я.А. // Зарубежная радиоэлектроника. 1969. №6. 101-124.
34. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / Бреховских Л.М. – М.: Наука, 1973.-343 с.
35. Жидков А.В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006, 115 с.
36. Гудков С. Н. Ресурсные испытания торцового сальникового уплотнения с реверсивными канавками / С. Н. Гудков, А. В. Загорюлько // Международный научный журнал «Технологический аудит и резервы производства». – Харьков, 2015. – №1(21).– С. 11-15.