

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«_____» _____ 2026 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів»

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків

Студент (-ка) IV к, групи ЛП-22
(шифр групи)

Воробйов Кирило Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник проекту:

к.т.н., доц. Сідоров Д.Е.
(підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ: д.т.н., проф. Щербина В.Ю.

ТЕХ. МАШ.: ст. викл. Борщик С.О.

ОХОРОНИ ПРАЦІ: к.т.н., ст. викл. Ковтун А.І.

РЕЦЕНЗЕНТ _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ 2026 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність –(133 Галузеве машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Воробйову Кирилу Володимировичу

1. Тема проекту «Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків», керівник проекту Сідоров Дмитро Едуардович, кандидат технічних наук, доцент затверджений наказом по університету від «19.05» 2026 р. № 1817-С
2. Термін подання студентом проекту 16.06.2026 р.
3. Вихідні дані до проекту .
Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків: Матеріал СЧ15 ГОСТ 1412-85, діаметр робочої частини валка-660 мм, довжина робочої частини валка-1500 мм, твердість робочої поверхні валка HRC 42...55.
4. Зміст пояснювальної записки
Вступ; Призначення та галузь застосування виробу, який проектується; Технічна характеристика базової машини; Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії; Літературний та патентний огляд стану питання; Розрахунки; Числові розрахунки та 3-Д моделювання; Охорона праці та навколишнього середовища; Технологія машинобудування; Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу

Лінія для листування гуми (A1); Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків (A1); Валок модернізований (A1); Валок (A1); Кришка підшипника (A4); Дистанційне кільце (A4); Прокладка ущільнювальна (A3); Кришка глуха (A3); Пристосування притискне (A1); Плакат Розробка 3-Д моделі (A1); Плакат Розрахунок базової моделі (A1); Плакат Розрахунок модернізованої моделі (A1).

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	проф. Щербина В.Ю.	19.05.26	
ТЕХ. МАШИНОБУД.	ст. викл. Борщик С.О.	19.05.26	
ОХОРОНА ПРАЦІ	ст. викл. Ковтун А.І.	19.05.26	

7. Дата видачі завдання 14.04.26р.

Календарний план

[illegible]

Студент

Кирило ВОРОБЬОВ

Керівник проекту

Дмитро СІДОРОВ

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт освітньо-кваліційного рівня (бакалавр) за напрямком підготовки 133- Галузеве машинобудування на тему: «Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків ». Виконав студент групи ЛП-22 Воробйов К. В., керівник — кандидат технічних наук, доцент Сідоров Д.Е.

Робота складається з текстової і графічної частини. Текстова частина містить 8 розділів і додатки, загальний обсяг яких 99 сторінок. Графічна частина містить п'ять креслень формату А1, два креслення формату А4, два креслення формату А3 і три плакати з результатами розрахунків.

Об'єкт розробки-модернізація валків.

Предмет розробки — вальці для підготовки гумової суміші.

Метою дипломної роботи «Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією» є розробка модернізованих валків для переробки гумової суміші. Модернізація направлена на поліпшення перемішування, рівномірність розподілу температури та якість суміші.

У дипломній роботі були спроектовані вальці для підготовки гумової суміші та модернізація валків. Виконані розрахунки геометричних параметрів, розрахунок продуктивності, розрахунок потужності приводу, розрахунок розпірного зусилля.

Ключові слова: ВАЛЬЦІ, ГУМОВА СУМІШ, МОДЕРНІЗАЦІЯ ВАЛКІВ.

ABSTRACT

Bachelor's degree diploma project in specialty 133 — Industrial Engineering on the topic: "Rollers for Rubber Compound Preparation with Modernization". Author: student of group LP-22 — Vorobyov K.V. Supervisor: Ph.D., Associate Professor Sidorov D.E.

The diploma project consists of a text part and a graphic part. The text part includes 8 chapters and appendices with a total volume of 99 pages. The graphic part includes five drawings of A1 format, two drawing of A4 format, two drawing of A3 and three posters presenting calculation results.

Object of the research: modernization of rollers.

Subject of the research: rollers for rubber compound preparation.

The aim of the project is the development of modernized rollers for rubber compound processing. The modernization is aimed at improving the mixing process, ensuring uniform temperature distribution, and enhancing the quality of the rubber compound.

During the project, the rollers for rubber compound preparation and their modernization were designed. Calculations were carried out for geometric parameters, productivity, drive power, and separating force.

Keywords: ROLLERS; RUBBER COMPOUND; ROLLER MODERNIZATION

Перелік позначень

D -діаметр валка, м;

L -довжина валка, м;

v -колова швидкість валка, м/с;

P -потужність приводу, кВт;

η - ККД приводу;

Q -продуктивність, кг/год;

τ - тривалість одного циклу, хв;

γ - об'ємна вага гумової суміші, кг/м³;

R -радіус валка, м;

f -коефіцієнт тертя;

M -крутний момент, Н·м;

σ - механічні напруження, МПа;

ϵ - деформація, мм;

n - кількість обертів валка, об/хв;

μ - коефіцієнт Пуассона;

E - модуль пружності, Па;

G -модуль зсуву, Па.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВИРОБУ, ЯКИЙ ПРОЕКТУЄТЬСЯ.....	9
2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ.....	12
3. ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ.....	13
4. ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ.....	27
4.1 Огляд існуючих рішень.....	27
4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації.....	33
5. РОЗРАХУНКИ.....	34
6. ЧИСЛОВІ РОЗРАХУНКИ ТА 3-Д МОДЕЛЮВАННЯ.....	44
6.1 Розрахунок до модернізації.....	44
6.2 Розрахунок модернізованої конструкції.....	54
7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	59
8. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	63
8.1 Технологія виготовлення деталі.....	64
8.2 Вибір та розрахунок пристосування для певної операції.....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	83
ДОДАТКИ.....	86

					ЛП22.037253.00-70 ПЗ							
Зм..	Арк.	№ докум	Підпис	Дата								
Розроб.		Воробйов К.В.			Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Сідоров Д.Е.									1	99
Реценз.									КПІ ім. Ігоря Сікорського. ФАПІЕ			
Н. Контр												
Затверд.		Сокольський О.Л.										

ВСТУП

Гумові суміші є невід'ємною складовою сучасної промисловості, зокрема в машинобудуванні, хімічній, будівельній та автомобільній галузях [1]. Вони відіграють важливу роль у створенні продукції з унікальними властивостями, такими як еластичність, міцність, зносостійкість і стійкість до хімічного впливу. Розвиток технологій виготовлення гумових сумішей дозволяє розширювати сферу їх застосування та вдосконалювати процеси виробництва [2]. Головними компонентами гумових сумішей є каучук, наповнювачі, пластифікатори, вулканізуючі агенти та інші хімічні домішки [1]. Їх пропорційне поєднання забезпечує бажані фізико-механічні властивості готових виробів. Гумові суміші можуть бути синтетичного чи натурального походження, залежно від застосовуваного каучуку, що також впливає на кінцеві характеристики продукту.

У цій бакалаврській роботі розглядається проектування вальців для підготовки гумової суміші із застосуванням конструктивної модернізації, що полягає у зміні форми робочої поверхні валків. Замість традиційної циліндричної форми використовується спеціальний профіль із хвилястою геометрією, яка покращує захоплення і подачу суміші в зону прокатування. Така форма сприяє більш рівномірному розподілу навантаження, інтенсивнішому перемішуванню матеріалу та зменшенню прослизання гумової маси.

Завдяки цьому покращуються технологічні характеристики процесу, підвищується ефективність роботи обладнання, а також досягається вища якість готової суміші. У роботі виконано розрахунок основних параметрів валків, створено їхню 3D-модель, проведено аналіз напружено-деформованого стану та обґрунтовано ефективність запропонованої конструкції.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВИРОБУ, ЯКИЙ ПРОЕКТУЄТЬСЯ

Гумові суміші складаються з багатьох компонентів, що мають різне функціональне призначення. Основним компонентом є каучук – еластомер, який забезпечує базові властивості матеріалу. Каучук може бути натуральним, що видобувається з соку гевеї, або синтетичним, який отримують шляхом полімеризації органічних сполук [1]. До складу суміші додають наповнювачі (наприклад, вуглець, крейду, силікони), що впливають на механічні властивості та стійкість матеріалу до зношування [2]. Пластифікатори та пом'якшувачі надають гумовій суміші гнучкість і зменшують її в'язкість, що полегшує процес обробки. Вулканізуючі агенти, такі як сірка, необхідні для створення поперечних зв'язків між молекулами каучуку, що забезпечує формування тривимірної структури матеріалу під час вулканізації [3].

Властивості гумових сумішей визначають їх широкий спектр застосування: від побутових товарів до деталей машин та механізмів. Наприклад, у виробництві шин гумові суміші підбираються таким чином, щоб забезпечити оптимальне поєднання міцності, еластичності та зчеплення з дорогою [2]. У промисловості використовуються спеціалізовані суміші з підвищеною стійкістю до дії високих температур, агресивних хімічних середовищ або значних механічних навантажень [5]. Таким чином, від правильної підготовки гумових сумішей залежить якість готових виробів і безпека їх використання [1].

Вальці є ключовим обладнанням у процесі підготовки гумових сумішей, виконуючи функцію механічного перемішування та обробки матеріалу для досягнення його однорідності [2]. Цей пристрій складається з двох або більше циліндрів, що обертаються у протилежних напрямках, між якими проходить гумова суміш. Вальці забезпечують необхідну пластичність матеріалу та рівномірний розподіл компонентів суміші, що є критично важливим для подальших етапів виробництва [5].

Роль вальців у виробничому процесі багатогранна. По-перше, вони дозволяють підготувати гумову суміш з необхідними фізико-хімічними

властивостями, що забезпечує її відповідність технічним вимогам. По-друге, вальці виконують функцію дегазації, видаляючи повітряні бульбашки з маси матеріалу, які можуть стати причиною дефектів у готових виробах [2]. По-третє, за допомогою вальців можна виконувати калібрування товщини матеріалу, що є важливим для забезпечення однакової якості у серійному виробництві [5].

У сучасних умовах виробництва вальці є незамінним інструментом у галузі гумотехнічних виробів, оскільки вони дозволяють не лише досягати високої якості продукції, але й оптимізувати витрати на сировину та енергію [5]. Їх широке застосування обумовлене універсальністю, надійністю та високою продуктивністю. Саме тому розробка та вдосконалення вальців є актуальною задачею для машинобудування, спрямованою на підвищення ефективності виробничих процесів [3].

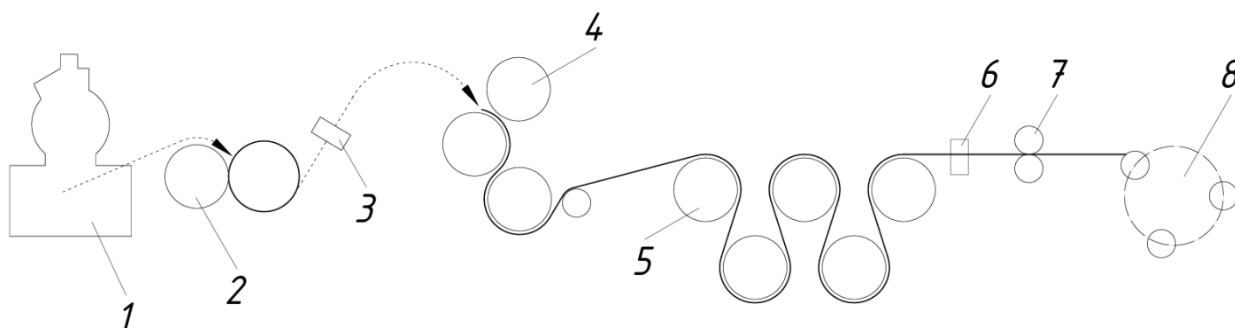


Рис 1.1- Лінія для листування гуми: 1-гумозмішувач; 2-вальці; 3-детектор металу; 4-каландр; 5-охолоджувальний пристрій; 6- контроль товщини листа; 7-механізм обрізання крайок; 8-закатний пристрій

Виробничий процес починається з подавання компонентів згідно з рецептурою у гумозмішувач (1), де відбувається їхнє змішування до утворення однорідної маси. Далі матеріал подається на вальці (2), де здійснюється попереднє формування листа та ущільнення суміші [8].

Після вальців суміш проходить через детектор металу (3), який контролює відсутність сторонніх включень. У разі виявлення металевих домішок лінія може автоматично зупинитися для уникнення пошкоджень обладнання.

Наступним етапом є каландрування (4) — суміш надходить у каландр, де

відбувається остаточне формування листа з заданою товщиною і шириною. Каландр відіграє ключову роль у формуванні геометричних параметрів виробу. Полотно проходить через охолоджувальний пристрій (5), що стабілізує розміри та властивості продукції шляхом зниження температури.

Після охолодження лист потрапляє на ділянку контролю товщини (6), де спеціальні датчики перевіряють відповідність геометричних параметрів нормам. Далі обрізний механізм (7) видаляє крайки полотна, забезпечуючи рівну ширину продукції. На завершальному етапі лист змотується в рулон за допомогою закатного пристрою (8) і готовий до подальшого транспортування або зберігання. Основне призначення лінії — перетворення гумової суміші в напівфабрикат у вигляді листа, що застосовується у виробництві транспортерних стрічок, прокладок, ущільнювачів та інших гумотехнічних виробів. Завдяки високій точності процесу листування, лінія дозволяє отримувати продукцію з відмінними експлуатаційними властивостями — еластичністю, зносостійкістю, стабільністю розмірів.

Подібні технологічні лінії застосовуються в автомобільній, гірничодобувній, хімічній, будівельній та інших галузях промисловості. Універсальність конструкції та автоматизація управління дають змогу адаптувати процес під різні типи сумішей та вимоги споживача.

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ

Технічну характеристику вальців наведемо у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика вальців для виготовлення гумової суміші

1	Продуктивність вальців, кг / цикл	80
2	Кількість валків	2
3	Діаметр робочої частини валка, м	0,66
4	Довжина робочої частини валка, м	1.5
5	Твердість робочої частини валка, HRC	42...55
6	Товщина відбіленого шару, м	0.01 ... 0.025
7	Робоча поверхня валків	гладка
8	Колова швидкість заднього валка, м/хв	34,5
9	Робоче розсунення валків, м	
	максимальне	0,015
	мінімальне	0,001
10	Змащування підшипників	централізоване
11	Регулювання зазора між валками	механічне
12	Редуктор приводу вальців	КЦ-60
13	Електродвигун приводу вальців	АОЗ –315м-6

3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ

Вальці складаються з двох або трьох паралельно розташованих порожнистих валків, що обертаються назустріч один одному. Вальці застосовуються для пластикації каучуку, приготування гумових сумішей, розігрівання їх перед каландруванням і шприцюванням, а також у виробництві регенерату.

Сучасні вальці оснащені вимірювальними приладами й допоміжними пристроями. Проте цим машинам властиві серйозні недоліки: невелика продуктивність, важкість герметизації при обробці на них пильних матеріалів, небезпека роботи, оскільки робітнику доводиться мати справу з обертаючими відкритими валками. Тому вальці поступово витискуються змішувальними машинами закритого типу: пластикаторами, грануляторами. Проте вальці широко застосовуються на невеликих підприємствах, на крупних заводах з великим асортиментом виробів для приготування безсажевих гумових сумішей або сумішей підвищеної жорсткості, на заводах гумотехнічних виробів і заводах гумового взуття; використовуються вони також і для підігріву гуми перед обробкою її на каландрах.

Одним з недоліків процесу вальцювання є недостатньо швидка пластикація суміші, за досить короткий проміжок часу, та присутність газоподібних включень у шарі матеріалу.

За мету модернізації було взято поліпшення інтенсифікації процесу вальцювання та видалення газоповітряних бульбашок.

Одним із засобів уникнення цих недоліків процесу вальцювання є введення в конструкцію вальців клинових пристроїв, які дозволяють змістити циркуляційні зони в напрямку високих швидкостей зсуву.

Необхідно відзначити, що робочі поверхні клинових пристроїв можуть мати різний профіль: від конфігурації, яка повторює профіль валків, до різного виду хвилястих поверхонь.

При русі перероблюваного матеріалу в між валкових зазорах найбільша дія валків на матеріал відбувається поблизу мінімального зазора, тобто вздовж лінії, яка

з'єднує осі валків. Це пояснюється тим, що в даному місці виникають найбільші зсувні напруження. У ділянці обертового запасу, де мають місце циркуляційні потоки, які створюють замкнені контури, градієнти швидкості малі. Останнє зауваження з урахуванням практичної відсутності осьового переміщення матеріалу значно зменшує інтенсивність механічного впливу на шари перероблюваного матеріалу в цій ділянці і, відповідно, вимагає більшого часу для переробки. Що стосується введення фракції й підрізання листа при вальцюванні, то ці заходи лише частково усувають названі недоліки.

За рахунок введення в конструкцію вальців клинових пристроїв час змішування гумової суміші зменшується майже вдвічі, що приведе до збільшення продуктивності та, відповідно, кількості одиниць продукції.

Оброблюваний матеріал (каучук або гумова суміш) у вигляді шматків або пластин завантажують на вальці (рис. 3.1) та багато разів пропускають через зазор між обертовими валками 1 та 3. Каучук або гумова суміш втягуються в зазор під дією сили тертя та за рахунок виникаючого зчеплення (адгезії) між оброблюваним матеріалом і поверхнею обертових валків. При цьому зона деформації й ступінь захоплення матеріалу валками визначаються кутом захоплення α , який, коливається в межах від 10 до 45° [4].

Передній і задній валки обертаються з різними коловими швидкостями. Відношення колової швидкості швидкісного валка до колової швидкості тихохідного валка називається фрикцією. Унаслідок різниці швидкостей обертання валків в оброблюваному матеріалі виникають деформації зсуву й зрізу, а в зоні деформації виникає обертовий запас матеріалу 2, який поступово втягується в зазор між валками, посилено в ньому перемішується й перетирається, розподіляючись за всією довжиною зазора. Оброблювана маса виходить з зазора у вигляді відхиленого у бік валка листа, який обертається з меншою коловою швидкістю (як правило, переднього по відношенню до працюючого на вальцях), прилипаючи до нього, й, утворюючи на валку суцільний шар 4.

При багаторазовому пропусканні оброблюваного матеріалу через зазор між

валками він піддається інтенсивному перемішуванню чому сприяє підрізування шару, що утворюється на валку. Товщина шару регулюється величиною зазора

між валками й, звичайно, коливається від 10 до 12 мм. При виготовленні гумової суміші необхідно, щоб запас матеріалу в зоні захоплення був достатнім для додання сипких компонентів суміші, проте при дуже великому запасі матеріалу в зоні захоплення знижується інтенсивність його обробки.

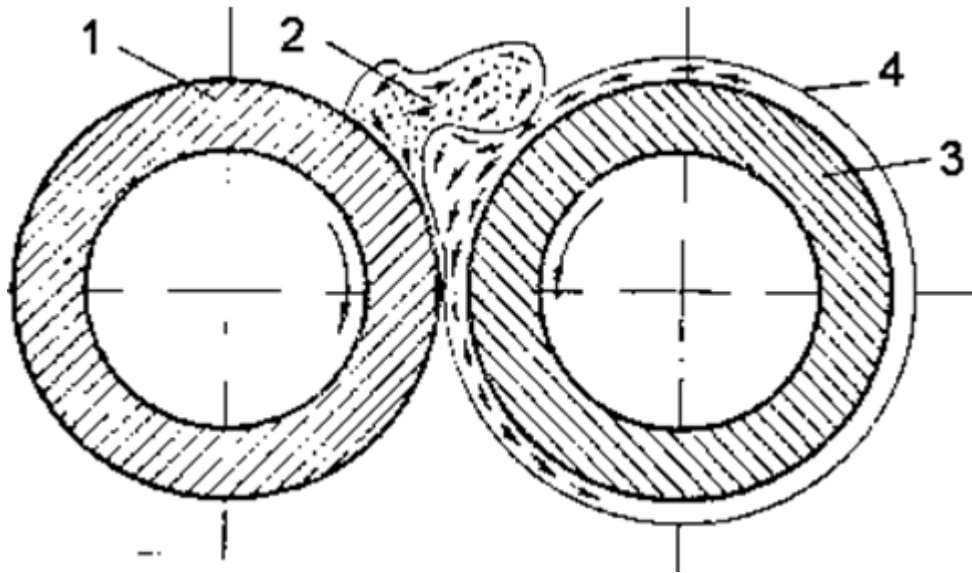


Рисунок 3.1 – Схема роботи вальців: 1 – передній валок; 2 – запас матеріалу; 3 – задній валок; 4 – шар матеріалу на передньому валку

Найбільша інтенсивність обробки матеріалу спостерігається в початковий період вальцювання, а потім вона знижується. Великий вплив на процес обробки матеріалу на вальцях надають також значення фрикції та колових швидкостей обертання валків. Наприклад, при підвищенні фрикції до певних меж тривалість змішування скорочується. Проте значне збільшення фрикції й колових швидкостей валків неминуче спричиняє за собою підвищення температури оброблюваної суміші, а це створює труднощі відведення тепла, що виділяється. З цієї причини значення фрикції в змішувальних вальцях, звичайно, не перевищує 1 : 1,3, а швидкості обертання валків – 40 м/хв.

Після закінчення обробки матеріалу на вальцях він зрізається з поверхні переднього валка й піддається охолоджуванню або прямує у вигляді стрічки на подальші операції.

На рис. 3.2-3.3 надана схема загальної будови вальців.

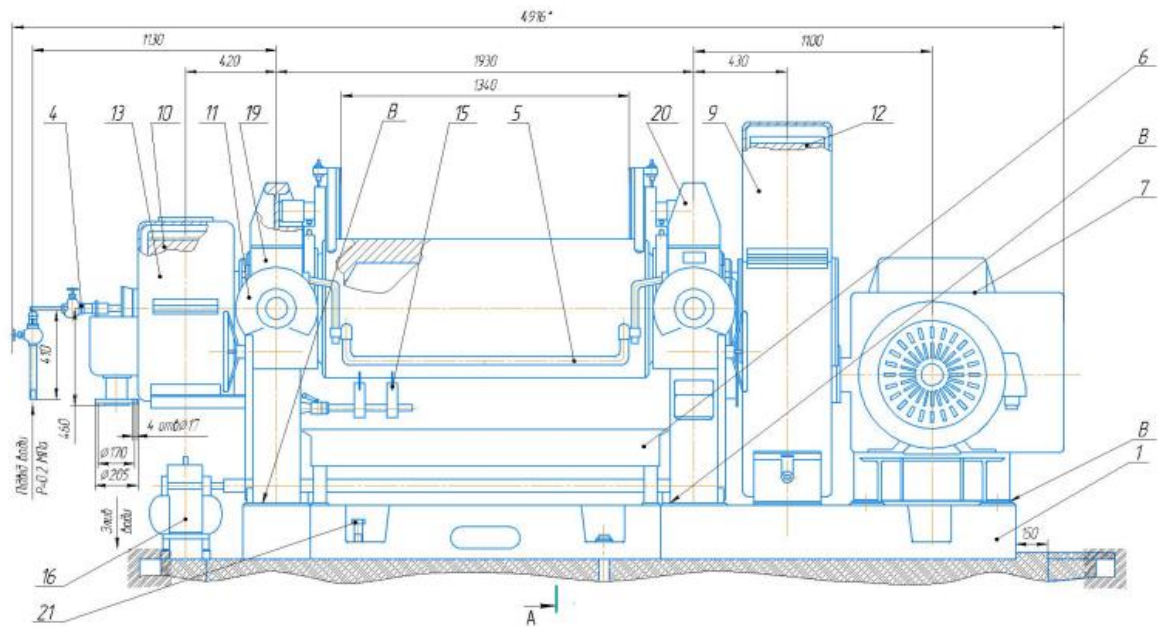


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд вальців: 1 – станина; 2 – вальці гумозмішувальні; 3 – опорний підшипниковий вузол; 4 – клапан; 5 – траверса; 6 – штанга аварійних вимикачів; 7 – вузол ножів; 8 – кран охолодження; 9 – трубопровід; 10 – трубопровід системи охолодження; 11 – змащування підшипників; 12 – механізм контролювання зазору; 13 – редуктор приводу вальців; 14 – електродвигун приводу вальців; 15 – фрикційна шестерня; 16 – зливний клапан; 17 – кришка корпусу; 18 – регулювальний гвинт; 19 – вузол зливу води; 20 – кінцевий вимикач; 21 – болти регулювання.

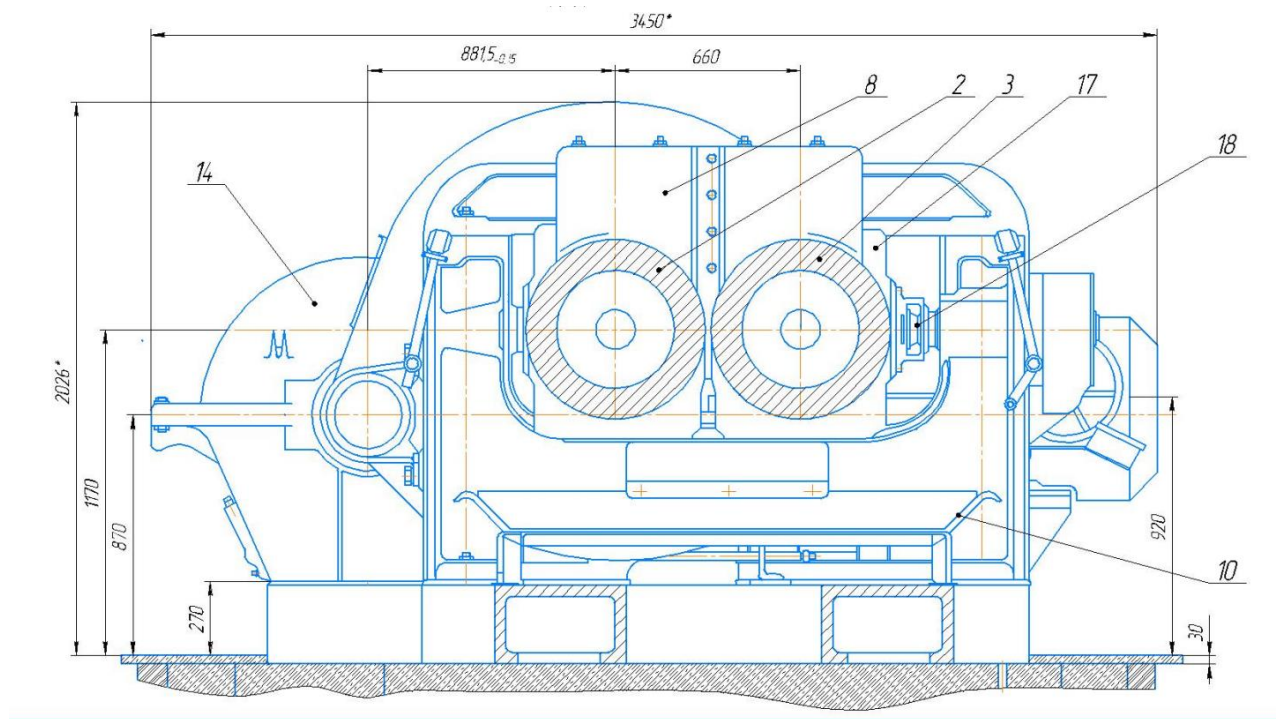


Рисунок 3.3-Вальці для підготовки гумової суміші

Вальці представляють собою двовалкову прокатну машину (Рис.3.3). Основними робочими органами є два порожнисті робочі валки (поз. 2), що обертаються в протилежних напрямках у горизонтальній площині. Кожен валок змонтований у підшипниковому вузлі (поз. 3), встановленому в жорсткій станині (поз. 1), яка закріплена на масивній фундаментній плиті. Між станинами і плитою розміщені регульовальні прокладки (поз. 21), що забезпечують точне виставлення вузлів.

Особливістю конструкції є модернізація підшипникового вузла (поз. 3), яка передбачає вдосконалене ущільнення та систему змащення (поз. 11), що зменшує витікання мастила та подовжує термін служби. Змазування забезпечується централізованою системою з магістральним підводом, що знижує час на обслуговування та ризик виходу з ладу.

Ще одним елементом модернізації є система охолодження – вона включає трубопровідну систему (поз. 10) з аварійним відведенням через кран охолодження (поз. 9) та вузол зливу води (поз. 19), що дозволяє оперативно зливати теплоносії під час зупинок або аварій. Залишкова рідина скидається через зливний клапан (поз. 16).

Робоча поверхня валків може бути гладкою або рифленою, з твердістю HRC 42–55 (поз. 5) і зносостійким шаром 0,5–1 мм (поз. 6). Для уникнення потрапляння сторонніх тіл у зону обробки та захисту персоналу використовується захисний кожух (поз. 8), який також пройшов адаптацію згідно з рекомендаціями з патенту.

Привід вальців реалізується через електродвигун (поз. 14), редуктор приводу вальців (поз. 13) та фрикційну шестірню (поз. 15), яка згладжує пускові навантаження. Для налаштування зазору між валками використовується регульовальний гвинт (поз. 18) у зв'язці з механізмом контролювання зазору (поз. 12), що оснащений вбудованими запобіжними пристроями згідно з патентом CN103978575A.

Кінцеві вимикачі (поз. 20) забезпечують аварійну зупинку у випадку перевищення допустимого зусилля або порушення геометрії налаштування. Штанга аварійних вимикачів (поз. 6) дозволяє оперативно зупинити вальці вручну. Для обслуговування механізму передбачено вузол ножів (поз. 7), а також траверсу (поз. 5) для зручності демонтажу та монтажу валків.

Для обмеження зворотного руху гумової суміші встановлений клапан (поз. 4), а для зручності обслуговування в конструкції передбачено кінцевий вимикач (поз. 20) та кришку корпусу (поз. 17), яка спрощує доступ до внутрішніх вузлів.

Усі силові елементи – станина, корпус, підшипникові вузли – проєктовані з шестикратним запасом міцності відповідно до максимальних очікуваних навантажень.

Валки, які являють собою два порожнистих чавунних циліндри з шийками, встановлені в підшипниках у вікнах станин. Валок (рис. 3.4) виготовляється зі спеціального високоякісного чавуну із загартованою поверхнею робочої частини. Валки є основними робочими деталями вальців, безпосередньо дотичними з оброблюваним матеріалом [7].

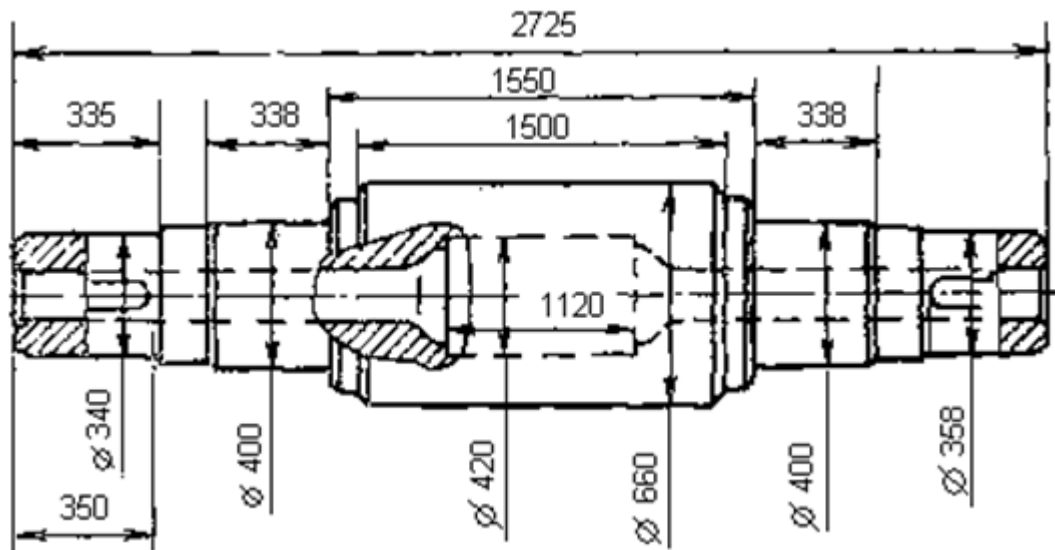


Рисунок 3.4 – Чавунний задній валок

Від якості їх виготовлення, міцності, правильності установки й експлуатації залежить робота всієї машини й технологічні властивості оброблених каучуку або гумових сумішей. Валки сприймають великі розпірні зусилля, і тому повинні володіти достатньою міцністю, щоб уникнути їх прогинання або поломки. Вони відливаються в кокіль з чавуну марки СЧ15. Товщина зовнішнього видбіленого шару, утворюваного при литві на поверхні бочки обробленого валка, дорівнює 25 мм. Твердість цього шару (по ГОСТ 14333-69) HRC 50-55.

Після відливки валок обробляється на верстаті; поверхня бочки валка шліфується, а внутрішня порожнина розточується.

Поверхня бочки валка повинна бути стійкою проти стирання й не деформуватися при зрізанні гуми сталевими ножами. У разі зносу зовнішньої, загартованої поверхні бочки її можна шліфувати, доки шар, що знімається при шліфовці, знаходиться в зоні відбіленого чавуну.

Підшипники заднього валку закріплені в станині нерухомо, а підшипники переднього валка можуть переміщатися в напрямних станини для зміни зазора між валками. У вальцях вмонтовані підшипники кочення. При цьому застосовують спеціальні дворядні підшипники. Вузол валкових підшипників з дворядним сферичним підшипником показаний на рис. 3.5 [11].

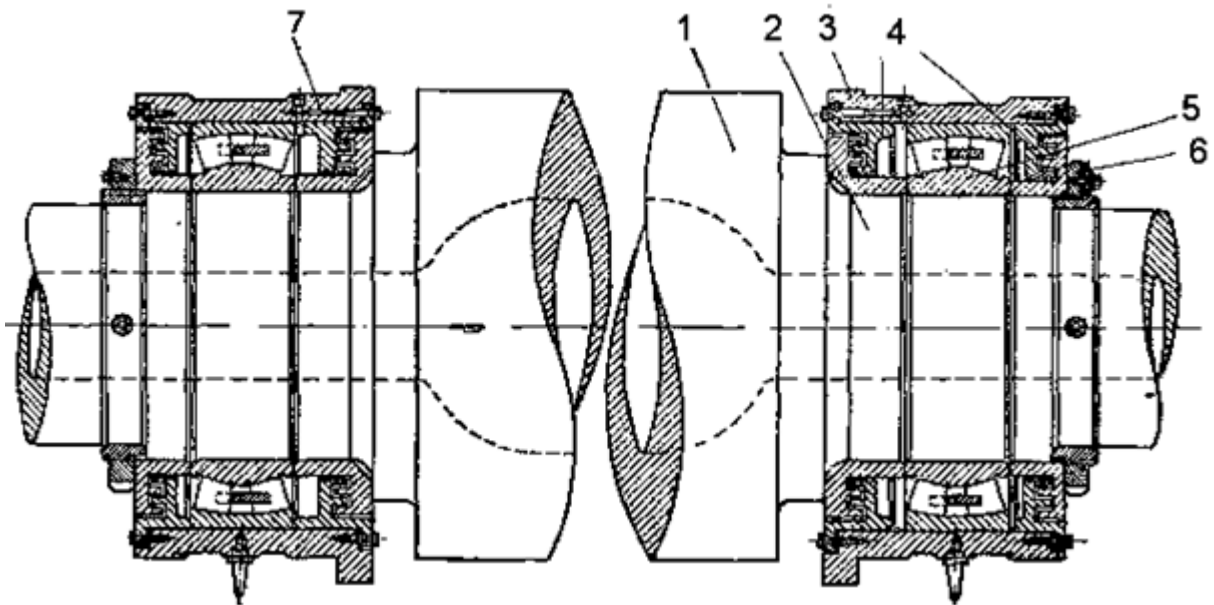


Рисунок 3.5 – Вузол валкових підшипників: 1 – робоча поверхня валка; 2 – шийка валка; 3 – корпус підшипника; 4 – лабіринтові ущільнення; 5 – підшипник; 6 – стопорне кільце; 7 – канали для мастила

Підшипники кочення встановлюють на вальцях по легкоходовій посадці (без осьової фіксації), зовнішні кільця встановлюють в корпуси по ходовій посадці з фіксацією їх торцевими кришками. Ущільнення – лабіринтове, яке допускає осьове зміщення валків до 5 мм. Неспівосність опор не повинна перевищувати 0,01 мм на 100 мм. Вага підшипника кочення 170-180 кг, мастило консистентне. Переміщення підшипників здійснюється за допомогою двох механізмів регулювання зазора.

Механізм регулювання зазора розташований на станині з боку переднього валка (рис. 3.6). Натискний гвинт 1 обертається в сталевій гайці 12, закріпленої в станині вальців. На кінці натискного гвинта змонтований запобіжний пристрій, який складається із запобіжної шайби 9, кришки 11, матриці 8, пуансона 10 і корпуса 7, закріпленого болтами на корпусі підшипника 6 валка вальців.

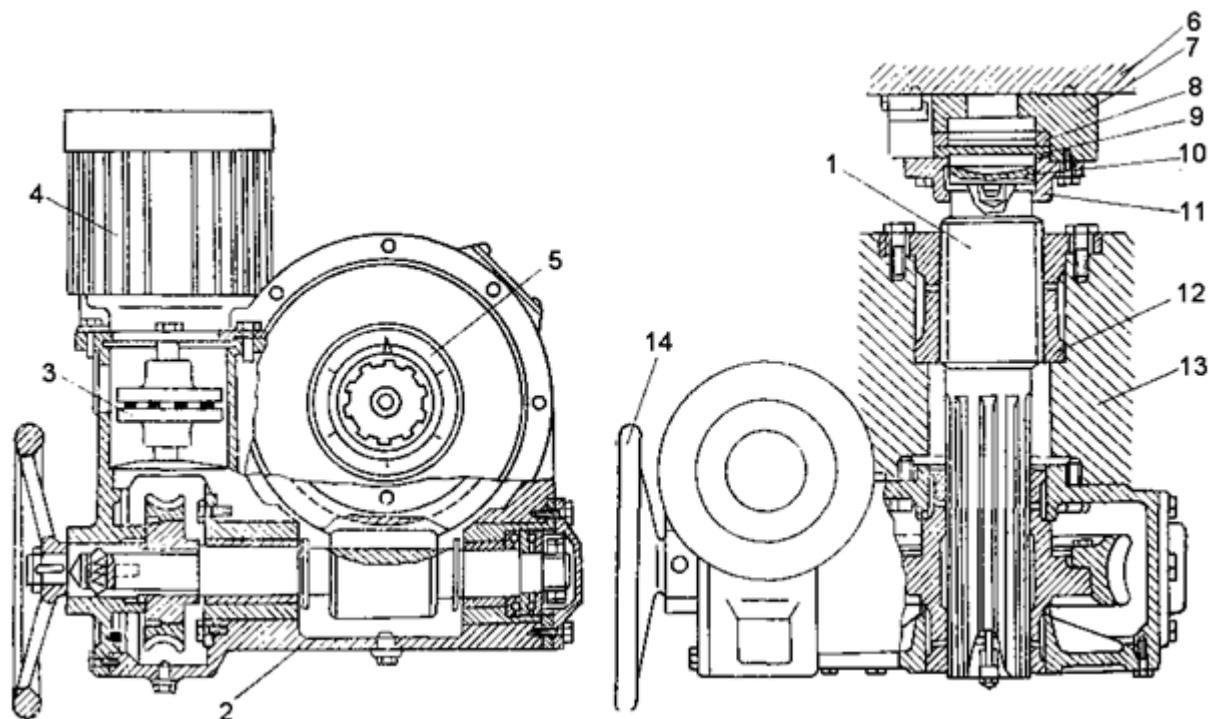


Рисунок 3.6. – Механізм регулювання зазора: 1 – натискний гвинт; 2 – черв'ячний редуктор; 3 – еластична муфта; 4 – електродвигун; 5 – покажчик величини зазора; 6 – корпус підшипника валку; 7 – корпус запобіжного пристрою; 8 – матриця; 9 – запобіжна шайба; 10 – пуансон; 11 – кришка; 12 – гайка натискного гвинта; 13 – станина вальців; 14 – маховичок

Запобіжний пристрій служить для усунення руйнування валків і станини при значному збільшенні розпірних зусиль між валками вальців. У разі перевантажень (попадання в зазор металевих речей та ін.) запобіжні шайби, розраховані на певне зусилля, зрізаються, передній валок переміщується, збільшуючи зазор між валками, і вальці автоматично зупиняються. Щоб запобіжний пристрій працював надійно, необхідно правильно розрахувати запобіжну шайбу. Механізм регулювання зазора має також маховичок 14 для ручного приводу на випадок виходу з ладу електродвигуна.

Для забезпечення безпеки роботи на вальцях є механізм аварійної зупинки. Він складається з чотирьох стійок, між кожними двома з яких є троси або штанги, паралельні осям валків вальців. Один кінець кожного троса закріплений нерухомо, а другий сполучений з кінцевим вимикачем. При натисканні на трос (штангу) відбувається відключення електродвигуна, гальмування й автоматична зупинка

вальців. Гальмування вальців виконується за допомогою колодкового гальма (рис. 3.7).

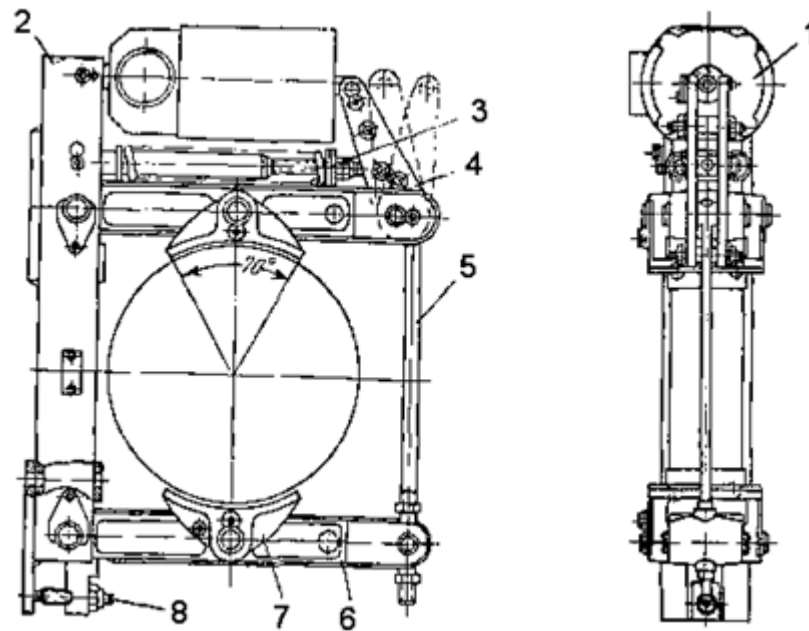


Рисунок 3.7 – Колодкове гальмо з електрогідроштовхачем: 1 – електрогідроштовхач; 2 – підстава; 3 – пружина з тягою; 4 – верхні важелі; 5 – шток; 6 – важелі; 7 – колодки; 8 – регулювальний болт

Вальці обладнані гальмом поліпшеної конструкції типа ТКТГ-3ООМ з електрогідравлічним штовхачем ТГМ-80. Натискання на гальмові колодки здійснюється електрогідравлічним штовхачем (рис. 3.8).

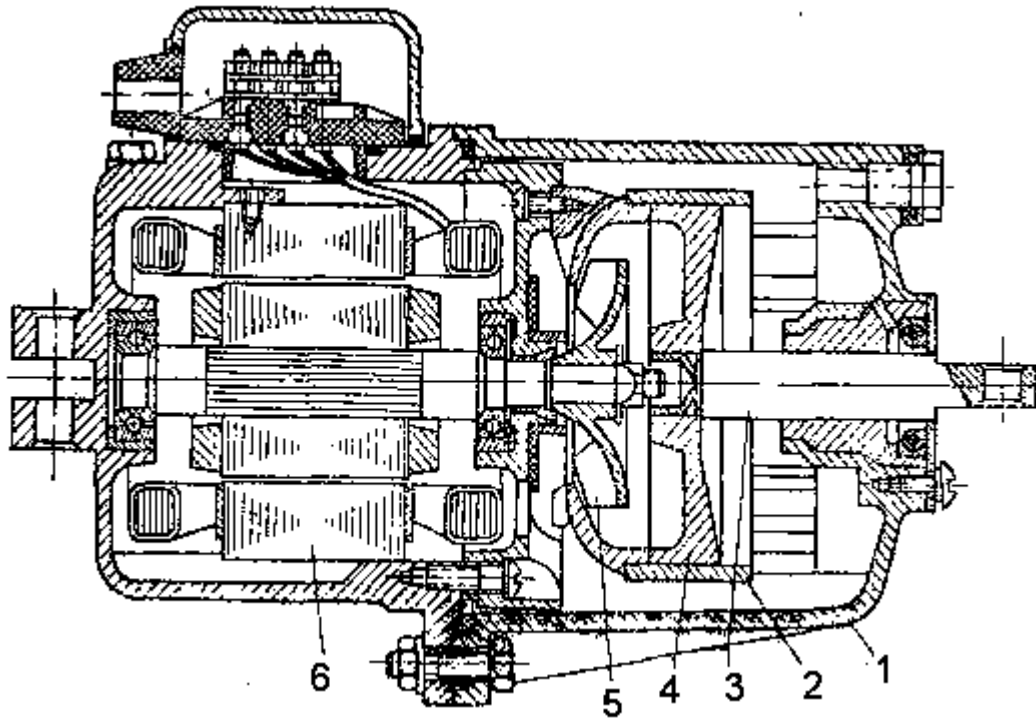


Рисунок 3.8 – Електрогідравлічний штовхач: 1 – корпус; 2 – циліндр; 3 – шток; 4 – поршень; 5 – крильчатка насоса; 6 – електродвигун

Штовхач складається з електродвигуна 6, який занурений у трансформаторне мастило, що знаходиться в корпусі 1. На валу електродвигуна 6 закріплена крильчатка 5 (відцентрове колесо насоса). При вмиканні електродвигуна відцентрове колесо починає обертатися й створює надмірний тиск мастила під поршнем 4 зі штоком 3. Поршень переміщується вгору в циліндрі 2, підіймаючи важіль гальма, з яким шток знаходиться в шарнірному зачепленні. При цьому звільнюється гальмовий шків, і розтискаються гальмові колодки. Мастило над поршнем через канали між циліндром 2 і корпусом 1 перетікає в нижню частину корпусу. При аварійному гальмуванні з припиненням подачі струму на електродвигун 6 штовхача електродвигун зупиняється, і відцентрове колесо припиняє обертатися й підтримувати надмірний тиск над поршнем 4. Під дією пружини гальма й власної ваги поршень опускається вниз і через шток 3 затискає гальмовими колодками шків електродвигуна приводу вальців.

Системи аварійної зупинки вальців повинні забезпечувати можливо швидко припинення обертання валків і видалення сторонніх речей з області деформації шляхом включення зворотного ходу. Аварійні вимикачі повинні бути влаштовані

так, щоб їх можна було привести в дію в будь-який момент з робочого місця як з передньої, так і з задньої сторони вальців. Такі системи звичайно складаються зі штанг, кінцевих вимикачів, перемикачів, гальмових, блокуючих й інших пристроїв. Кожна система аварійної зупинки вальців повинна мати пристрої, що дозволяють вимкнути приводний електродвигун і загальмувати машину. При електромеханічному гальмуванні після натиснення на штангу, робітник відключає електродвигун приводу машини й одночасно вмикає механічне гальмо для зупинки частин приводу, що обертаються за інерцією.

Момент опору обертанню валків може з різних причин перевищити граничне значення. Це може відбутися при неприпустимому зменшенні зазора на початковій стадії вальцювання ще холодної високов'язкої суміші, при попаданні великих твердих включень у міжвалковий зазор. Для запобігання псуванню елементів приводу й робочої поверхні валків застосовують спеціальні захисні деталі. При зростанні навантаження вище за допустимі вони руйнуються, припиняючи при цьому роботу машини.

Захисна деталь – запобіжна шайба (рис. 3.9). Розпірне зусилля з корпусу 5 підшипника валка передається натискному гвинту 8 механізму регулювання зазора через касету 4, опорну 3 і запобіжну 2 шайби, пуансон-підп'ятник 1. Як тільки розпірне зусилля перевищує допустиму величину, відбувається зріз шайби 2 по поверхні, відповідній діаметру пуансона 1;

Для заміни зрізаної шайби достатньо вигвинтити гвинт 6 і вийняти касету 4 разом з шайбою з корпусу 7 в напрямку, перпендикулярному площині креслення.

Валки охолоджуються проточною водою. У порожнині валків змонтований охолоджуючий пристрій, що складається з труби з отворами, які направлені в бік зазора між валками, воронки й ванни. Вода, що подається в трубу під тиском, витікає через отвори, зрошує внутрішню порожнину валка й зливається через відкритий кінець валка та воронку у ванну.

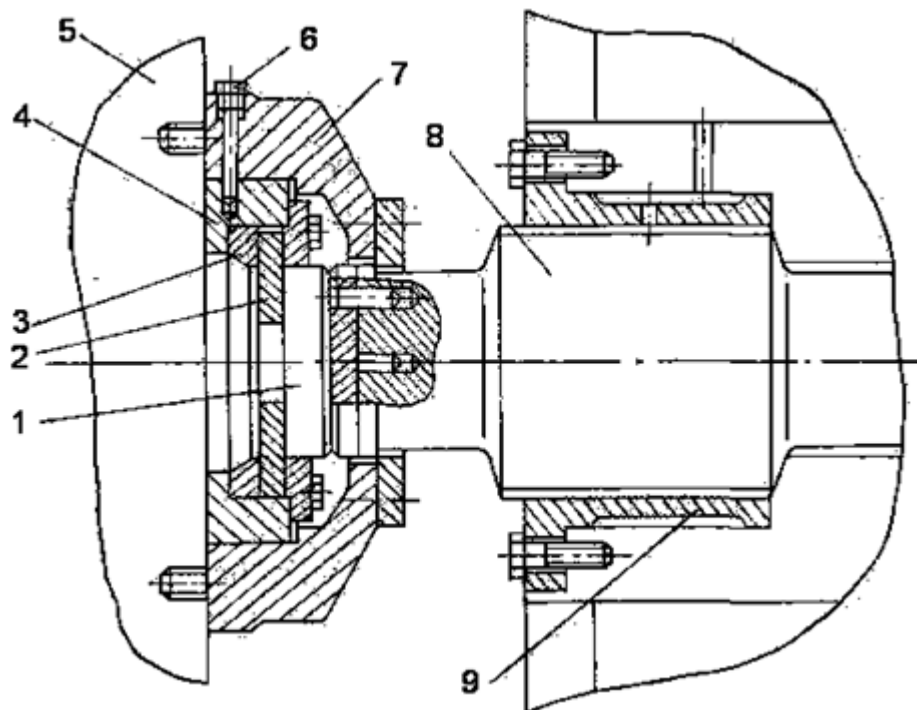


Рисунок 3.9 – Запобіжна шайба корпусу підшипника валка: 1 – пуансон-підп'ятник; 2 – запобіжна шайба; 3 – опорна шайба; 4 – касета; 5 – корпус підшипника валка; 6 – гвинт; 7 – корпус касети; 8 – натискний гвинт; 9 – гайка

Охолодження валків має виключно важливе значення для нормальної роботи вальців, оскільки при обробці на них каучуку або гумової суміші виділяється значна кількість тепла. Звичайно температура поверхні валків підтримується на рівні $333K$. Охолодження виконується водою, яка подається у внутрішню порожнину валків; температура води не перевищує $285-287K$ [4].

З метою скорочення споживання води на охолодження вальців важливо, щоб внутрішня поверхня валків була ретельно оброблена й в процесі експлуатації машини періодично очищалася від утвореного накипу, який різко погіршує теплообмін.

При пластикації натурального каучуку або обробці сумішей на його основі температура переднього валка повинна бути на 5-10% нижче температури заднього валка. Це необхідно для того, щоб каучук прилипав до поверхні переднього валка. При обробці гумових сумішей на основі синтетичного каучуку з тієї ж причини температура переднього валка повинна бути на $278-283 K$ вище температури заднього валка, оскільки синтетичний каучук краще прилипає до більш нагрітої поверхні.

Схема охолодження валків відкритим способом показана на рис. 3.10. При цьому способі охолодження труба 2 з розбризкуючими пристроями 3, привареними до неї на відстані 150-200мм один від одного, вільно входить у порожнину валка. Відпрацьована вода заповнює нижню частину порожнини валка й стікає через воронку 4 в зливне корито вальців.

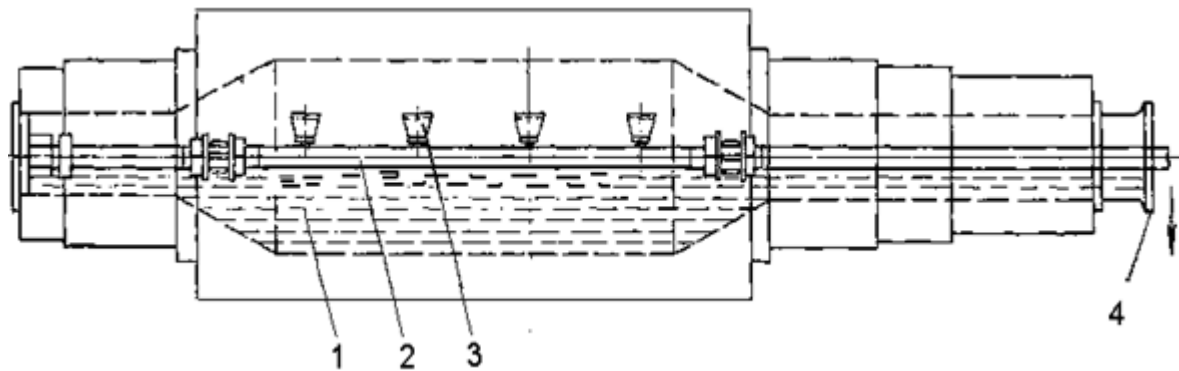


Рисунок 3.10.— Схема охолодження валків: 1 — валок; 2 — труба охолодження; 3 — розбризкуючи пристрої; 4 — зливна воронка

4 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

4.1. Огляд існуючих рішень

У рішенні [9] рис. 4.1. запропоновано удосконалення конструкції вальців каландра, призначених для переробки полімерних і гумових матеріалів, шляхом використання спеціально профільованих поверхонь валків, що мають гвинтові (косі) канавки, розташовані під кутом до осі обертання валка.

Такі конструктивні особливості забезпечують двовісний зсув матеріалу в зазорі між валками, при якому компоненти суміші зміщуються не лише в поперечному, але й у поздовжньому напрямку, що дає змогу досягти вищого ступеня гомогенізації матеріалу за менший проміжок часу.

Кожен валок при цьому обертається з різною окружною швидкістю, що створює градієнт швидкостей і покращує змішування. Канавки виконані з гострими краями і спрямовані у протилежні боки на кожному з валків, що дозволяє реалізувати інтенсивне механічне опрацювання матеріалу без надмірного навантаження на обладнання.

Основною метою технічного рішення є:

- 1 Підвищення однорідності суміші;
- 2 Скорочення часу перебування матеріалу в робочому зазорі;
- 3 Запобігання локальному перегріву матеріалу;
- 4 Покращення теплового режиму обробки за рахунок рівномірного розподілу навантажень по довжині валка.

Реалізація цієї конструкції дозволяє:

- 1 знизити ймовірність прилипання та перегріву окремих ділянок матеріалу;
- 2 зменшити втрати на охолодження;
- 3 покращити якість кінцевої продукції завдяки рівномірній текстурі суміші.
- 4 автоматизувати та прискорити процес змішування без втрати якості.

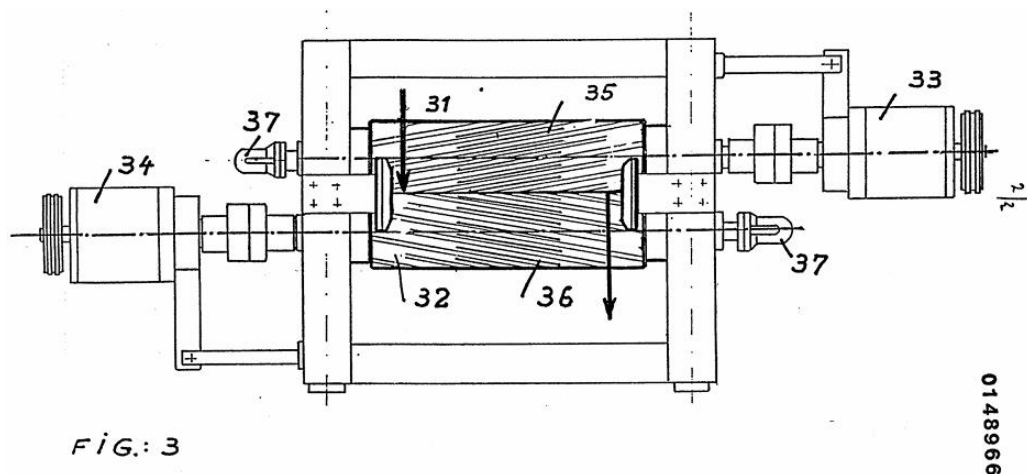


Рис 4.1.-Патент EP0148966 (A1)

Патент US2941239A [10] рис 4.2. стосується удосконалення конструкції валкового агрегату, призначеного для обробки пластичних матеріалів. Основна ідея полягає у можливості регульованої обробки матеріалу між двома або більше валками, які можуть обертатися з різними окружними швидкостями. Конструкція агрегату забезпечує зміну геометрії зазору та швидкісних параметрів залежно від властивостей оброблюваної сировини.

У патенті передбачено можливість незалежного регулювання швидкості кожного валка, що дозволяє точно налаштовувати інтенсивність зсувного навантаження та пластикації. Також реалізовано систему змінного тиску між валками, що дає змогу керувати глибиною впливу на матеріал. Така конструкція забезпечує гнучкість виробничого процесу та універсальність обладнання.

Запропоноване технічне рішення дозволяє підвищити якість обробки матеріалів, зменшити витрати на переобладнання та адаптувати технологічний процес до різних типів сумішей. Патент не передбачає використання профільованих або гвинтових канавок, а зосереджується на динамічному керуванні робочими параметрами валків.

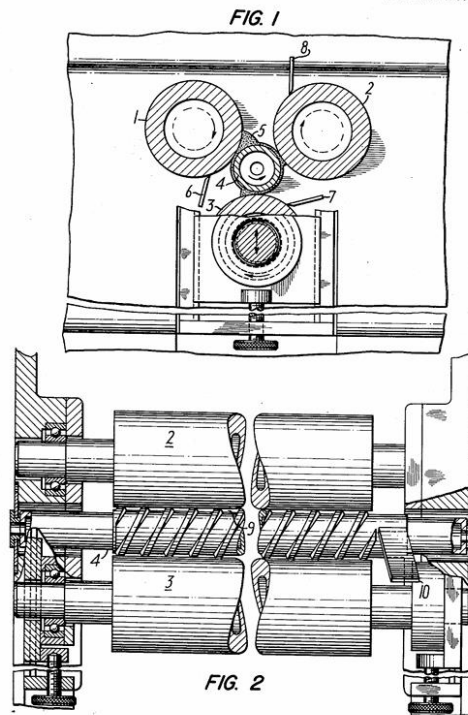


Рис 4.2.-Патент US2941239A

Патент CN103978575A [11] рис 4.3. присвячено удосконаленню конструкції робочих валків для переробки гумових сумішей, які використовуються у валкових машинах. Основною особливістю технічного рішення є зміна геометрії робочої поверхні валків. На відміну від традиційних валків із циліндричною або гладкою поверхнею, у запропонованій конструкції робоча поверхня кожного валка має хвилястий (синусоїдальний) профіль, який простягається вздовж осі обертання.

Профіль включає чергування опуклих і увігнутих ділянок однакової амплітуди і кроку. Причому напрям хвилі на одному з валків протилежний до напрямку хвилі на іншому. Така форма забезпечує багатовекторний зсув гумової суміші, що інтенсифікує процес гомогенізації, прискорює змішування і сприяє більш ефективній пластикації матеріалу.

Завдяки хвилястій формі валків створюються змінні контактні зони з матеріалом, які постійно переміщуються, що зменшує локальне перегрівання суміші, підвищує якість змішування і знижує зношення робочих поверхонь. Обертання валків з різними окружними швидкостями додатково створює зсувне поле, що посилює механічну обробку.

Конструкція також передбачає оптимізацію внутрішньої порожнини валка для покращення теплообміну, однак основна інновація зосереджена саме на робочому профілі валків.

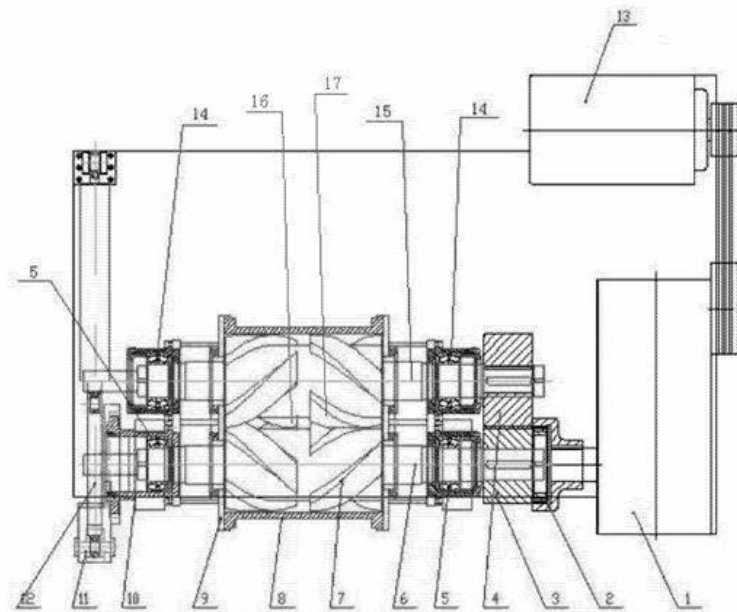


图 1

Рис 4.3.-Патент CN103978575A

Патент CN 205 343 514 U [12] рис 4.4. стосується удосконалення конструкції валків у гумозмішувальній машині, забезпечуючи автоматизоване очищення поверхні валків від залишків гумової суміші.

На валку встановлено два механізми – першу та другу подачні пластини– які можуть рухатися поперечно та вертикально відносно поверхні валка. Кожна пластина оснащена вбудованим нагрівальним елементом, що дозволяє розм'якшити залишки матеріалу для полегшення їх видалення. Нижній край пластини укомплектовано висувним скребком та щіткою , яка здійснює кінцеве очищення поверхні після відскребування. Переміщення кожної пластикової пластини забезпечуються окремими гідроциліндрами та електродвигунами для переміщення, а регулювання висоти здійснюється через зубчасту передачу – шестерню, зубчасту рейку та важіль.

Запропонована конструкція дозволяє автоматичне очищення валків, усуваючи потребу в ручній операції очищення, що значно підвищує ефективність виробничого

процесу і забезпечує стабільну якість суміші, позбавляючи матеріал від небажаних домішок і застійних зони.

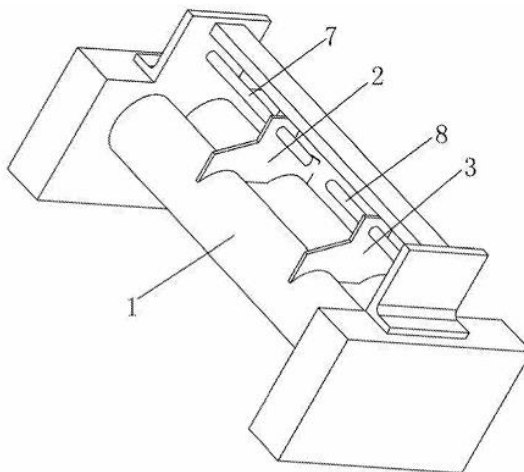


图1

Рис 4.4.-Патент CN 205 343 514 U

Патент UA 1446 U [13] присвячено удосконаленню конструкції валків, які використовуються у вальцювих машинах для обробки гумових сумішей. У винаході запропоновано конструкцію валка з модифікованою робочою поверхнею, яка має профіль, що сприяє покращенню процесу змішування та гомогенізації матеріалу в зоні контакту між валками

Конструктивною особливістю є формування робочої поверхні валка з урахуванням змінної кривизни по довжині, що забезпечує змінне навантаження на матеріал у процесі обертання. Такий підхід дозволяє інтенсифікувати зсув у певних зонах зазору, покращуючи якість обробки суміші. Валок оснащено внутрішніми каналами для циркуляції теплоносія, які сприяють рівномірному розподілу температури по всій робочій поверхні

У конструкції також передбачено механізми регулювання міжвалкового зазору та механічного тиску залежно від властивостей оброблюваної сировини. Це дозволяє адаптувати машину до різних типів гумових сумішей та забезпечити стабільний технологічний режим

Технічне рішення спрямоване на підвищення рівномірності змішування, зниження теплових напружень, покращення умов теплообміну та зменшення зносу

валків. Реалізація даної конструкції дозволяє підвищити продуктивність та якість процесу при одночасному зниженні енергетичних і експлуатаційних витрат.

Патент US 10 287 731 B2 [14] рис 4.5. присвячений конструкції зносостійкого покриття валка для промислових ролів, що складається з багатошарової системи. Конструкція включає металевий циліндричний сердечник, на який нанесений гумовий базовий шар, що щільно прилягає до сердечника, та гумовий верхній шар (top stock), що забезпечує необхідну еластичність і міцність.

По поверхні верхнього шару нанесено покриття з поліуретану товщиною приблизно від 0,05 до 0,25 дюйма (1,27–6,35 мм), з твердості в межах приблизно 3–70 по шкалі P&J. Поліуретанова оболонка забезпечує високу стійкість до абразивного зносу та хімічної агресії, що суттєво подовжує експлуатаційний ресурс валка.

Зокрема, у патенті зазначено що гумовий верхній шар має твердості від близько 30 до 300 по шкалі P&J, а базовий шар може мати меншу твердість (приблизно 3–20 P&J). Можливим є використання різних типів каучуку для базового шару, включаючи натуральний, NBR, HNBR, EPDM, CR, SBR та CSM, що дозволяє оптимізувати міцнісні властивості залежно від умов застосування.

Технічне рішення включає також можливість введення проміжного зв'язуючого шару між базою та верхнім шаром для покращення адгезії. Загальна товщина гумового покриття варіюється в межах від 1 до 2,5 дюйма (25–64 мм) для верхнього шару і приблизно 0,0625–0,25 дюйма (1,6–6,4 мм) для базового шару.

Цей багатошаровий підхід дозволяє поєднати гнучкість, пружність та амортизацію, забезпеченні поліуретанової зносостійкості та довговічності. Така конструкція придатна для застосування в паперових або картонних машинах (наприклад, couch- або press-roll), де поєднання стирання, хімічної стійкості та теплорегуляції є критичним.

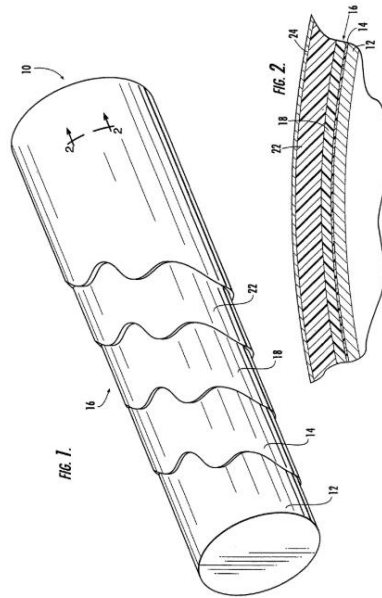


Рис 4.5.-Патент US 10 287 731 B2

4.2. Обґрунтування запропонованої модернізації

У ході дослідження були детально проаналізовані конструкція та принцип роботи вальців для підготовки гумової суміші. Особлива увага приділялася механічній схемі зубчастого перевертального барабан-міксера (patent CN103978575A): двоосьовій «bite-type» системі роторів із протилежним обертанням, редуктору з внутрішньою та зовнішніми шестернями, ущільненню в підшипниках та гідравлічному механізму вивантаження.

Завдяки такій архітектурі вальці забезпечують одночасне інтенсивне змішування й ефективне охолодження гарячої гумової маси без проміжного листоутворення та зупинки лінії, що гарантує:

1. високу однорідність складових суміші;
2. безперервність технологічного процесу;
3. скорочення кількості операцій і зниження енергозатрат;
4. простоту впровадження у вже наявну виробничу систему.

Отже, модернізація вальців за схемою CN103978575A є найбільш доцільним технічним рішенням для підвищення продуктивності, якості та економічності виробництва гумових сумішей.

5 РОЗРАХУНКИ

5.1. Розрахунок геометричних параметрів

Для валкових машин важливою вимогою є забезпечення рівнотовщинності матеріалу, який виходить з вальців. Рівнотовщинність визначається величиною прогину валків.

Площа бочки валка:

$$F_{\bar{o}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\bar{o}}^2 - d_{\bar{o}}^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (0,66^2 - 0,42^2) = 0,2 \text{ м}^2.$$

Площа шийки валка:

$$F_{\text{ш}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{ш}}^2 - d_{\text{ш}}^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (0,4^2 - 0,15^2) = 0,108 \text{ м}^2.$$

Момент інерції:

$$I_{\bar{o}} = I_{A-A} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_{\bar{o}}^4 - d_{\bar{o}}^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (0,66^4 - 0,42^4) = 0,007787 \text{ м}^4,$$

$$I_{\text{ш}} = I_{A-A} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_{\text{ш}}^4 - d_{\text{ш}}^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (0,4^4 - 0,15^4) = 0,001232 \text{ м}^4.$$

Загальна стріла прогину в середньому перетині валка від дії згинальних моментів:

$$f = P_p \cdot \left\{ \frac{1}{384 \cdot E \cdot I_{\bar{o}}} \cdot \left[8 \cdot a^3 - 4 \cdot a \cdot b^2 + 64 \cdot c^3 \cdot \left(\frac{I_{\bar{o}}}{I_{\text{ш}}} - 1 \right) \right] + \right. \\ \left. + \frac{1}{4 \cdot G \cdot F_{\bar{o}}} \left(a - \frac{b}{2} + 2 \cdot c \cdot \left[\frac{F_{\bar{o}}}{F_{\text{ш}}} - 1 \right] \right) \right\}, \quad (5.1)$$

де $D_{\bar{o}}$ – зовнішній діаметр бочки, $D_{\bar{o}} = 0,66 \text{ м}$; $d_{\bar{o}}$ – внутрішній діаметр бочки, $d_{\bar{o}} = 0,42 \text{ м}$; b – довжина бочки, $b = 1,5 \text{ м}$; b_1 – довжина шийки, $b_1 = 0,48 \text{ м}$; $D_{\text{ш}}$ – зовнішній діаметр шийки, $D_{\text{ш}} = 0,4 \text{ м}$; $d_{\text{ш}}$ – внутрішній діаметр шийки, $d_{\text{ш}} = 0,15 \text{ м}$; E – модуль пружності; G – модуль зсуву.

Додаткові дані для розрахунку наступні:

$$E = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}; G = 4,5 \cdot 10^{10} \text{ Па}; a = b + b_1 = 1,5 + 0,48 = 1,98 \text{ м}; c = \frac{b_1}{2} = \frac{0,48}{2} = 0,24 \text{ м}.$$

$$f_n = 1350000 \cdot \left\{ \frac{1}{384 \cdot 1.2 \cdot 10^{11} \cdot 7,787 \cdot 10^{-3}} \left[\begin{aligned} &8 \cdot 1,98^3 - 4 \cdot 1,98 \cdot 1,5^2 + \\ &+ 1,5^3 + 64 \cdot 0,24^3 \cdot \\ &\cdot \left(\frac{7,787 \cdot 10^{-3}}{1,232 \cdot 10^{-3}} - 1 \right) \end{aligned} \right] + \right. \\ \left. + \frac{1}{4 \cdot 4.5 \cdot 10^{10} \cdot 0,2} \left(1,98 - \frac{1,5}{2} + 2 \cdot 0,24 \cdot \left[\frac{0,2}{0,108} - 1 \right] \right) \right\} =$$

$$= 1,97 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,197 \text{ мм}.$$

5.2. Розрахунок продуктивності

Продуктивність вальців періодичної дії залежить від одноразового об'ємного завантаження гуми, циклу обробки гуми, їх розмірів і коефіцієнта використання машинного часу.

Продуктивність визначається за формулою:

$$Q = \frac{60 \cdot q_1 \cdot \gamma \cdot \eta}{\tau}, \quad (5.2)$$

де q_1 – об'єм одноразового завантаження суміші, м^3 ;

γ – об'ємний вага суміші, $\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$;

η – коефіцієнт використання машинного часу, $\eta = 0,85$;

τ – тривалість циклу роботи вальців, $\tau = 3,5 \text{ хв}$.

Одноразове об'ємного завантаження:

$$q_1 = 0,09 \cdot D \cdot L, \quad (5.3)$$

де D і L – діаметр та довжина робочої частини валка, м .

$$q_1 = 0,09 \cdot 0,66 \cdot 1,34 = 0,08 \text{ м}^3.$$

$$Q = \frac{60 \cdot 0,08 \cdot 1200 \cdot 0,85}{3,5} = 1400 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

5.3. Розрахунок потужності приводу

1. Вихідні дані та умови

Параметр	Значення
Продуктивність вальців, m	80 кг/цикл
Коефіцієнт тертя, f	1,07
Швидкість периферії заднього валка, v	34,5 м/хв ($\approx 0,575$ м/с)
Діаметр валка, D	0,66 м
Радіус валка, r	0,33 м
Прискорення вільного падіння, g	9,81 м/с ²

Розрахунки виконані за допомогою мови програмування C++ (Рис. 5.1.)

```
Output:

===== Розрахунки =====
1. Розрахунок сили тертя:
Формула:  $F = f * m * g$ 
 $F = 1.07 * 80.00 * 9.81 = 839.74$  Н

2. Розрахунок крутного моменту:
Формула:  $M = F * r$ 
 $M = 839.74 * 0.33 = 277.11$  Н·м

3. Розрахунок кутової швидкості:
Формула:  $\omega = v / r$ 
 $\omega = 0.57 / 0.33 = 1.74$  рад/с

4. Механічна потужність:
Формула:  $P_{\text{мех}} = M * \omega$ 
 $P_{\text{мех}} = 277.11 * 1.74 = 482.85$  Вт (0.48 кВт)

5. Потужність з урахуванням ККД приводу:
Формула:  $P_{\text{ел}} = P_{\text{мех}} / \eta$ 
 $\eta = 0.95 * 0.97 * 0.94 = 0.87$ 
 $P_{\text{ел}} = 482.85 / 0.87 = 557.43$  Вт (0.56 кВт)

6. Рекомендований запас потужності:
Формула:  $P_{\text{ном}} = P_{\text{ел}} * 10$ 
 $P_{\text{ном}} = 557.43 * 10 = 5574.26$  Вт (5.57 кВт)

7. Обрана потужність двигуна:
Обрана потужність двигуна  $P_{\text{motor}} = 7.50$  кВт

=====
```

Рисунок 5.1-Результати

Рекомендований запас 5–10×: $P_{ном} \approx 0,55 \text{ кВт} \times 10 \approx 5,5 \text{ кВт}$
 Обрана потужність двигуна — 7,5 кВт (перевищує розрахункову для надійності). (див. Додаток)

5.4. Розрахунок розпiрного зусилля

При визначені механічних напружень за розрахункову схему валка приймається балка розміщена на двох опорах (підшипниках), на яку діє рівномірно розподілене навантаження від дії розпiрного зусилля й власної ваги валка та крутний момент $M_{кр}$. (Рис 5.2)

Вихідні дані: P – розпiрне зусилля, $P=1350 \text{ кН}$; b – довжина навантаженої частини бочки валка, $b=1340 \text{ мм}$; N – потужність, яка передається валку, $N=132 \text{ кВт}$; G – модуль зсуву; E – модуль пружності; n – швидкість обертання валка, $n=16,2 \text{ об/хв}$;

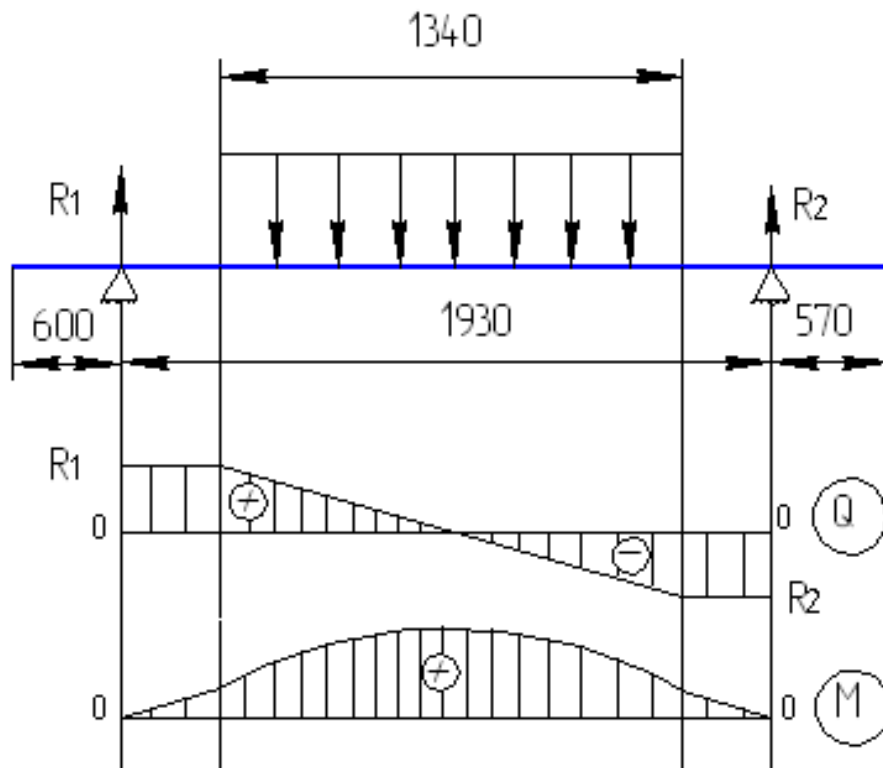


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема валка

Еквівалентні механічні напруження для кожного з небезпечних перетинів валків визначаються по теорії міцності Мора (валок виготовляється із крихкого матеріалу – чавуну) [8]:

$$\sigma_{екв_i} = \frac{1-\mu}{2} \cdot \sigma_{-\mu} + \frac{1+\mu}{2} \cdot \sqrt{\sigma_i^2 + 4 \cdot \tau_i^2}, \quad (5.4)$$

де $\sigma_{-\mu}$ – сумарні нормальні напруження на внутрішній або зовнішній поверхнях валка;

μ – коефіцієнт Пуассона ($\mu=0,23$);

τ_i – дотичні напруження в відповідних перетинах валка від дії крутного моменту.

Сумарні нормальні напруження визначаються для кожного із небезпечних перетинів за наступною формулою:

$$\sigma_{c_i} = k \cdot \sigma_{z_i}, \quad (5.5)$$

де σ_{z_i} – напруження згинання;

k – коефіцієнт запасу, який приймається в межах $1,2 \div 1,5$.

Напруження згинання визначаються за формулою:

$$\sigma_{K_i} = \frac{M_i}{W_{x_i}}, \quad (5.6)$$

де M_i – згинальні моменти в різних перетинах валка;

W_{x_i} – осьові моменти опору відповідних перетинів валка.

Для визначення згинальних моментів у різних перетинах валка скористаємось схемою його навантаження та відповідними епюрами:

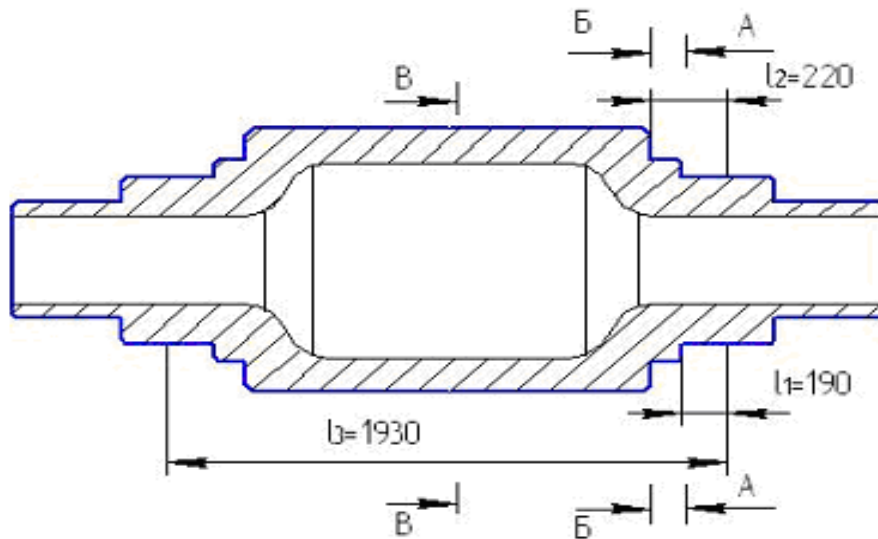


Рисунок 5.3 – Ескіз валка вальців

Опорні реакції від дії розпірного зусилля:

$$R_1 = R_2 = \frac{P}{2}, \quad (5.7)$$

де R_1, R_2 – опорні реакції, H :

$$R_1 = R_2 = \frac{1350000}{2} = 675000 H.$$

$$M_i = R_2 \cdot l_i, \quad (5.8)$$

де l_i – відстань від опори до відповідного перетину.

Максимальний згинальний момент $M_{\max}$ для прийнятої схеми навантаження наступний:

$$M_i = \frac{P}{8} \cdot (2 \cdot l_3 - b). \quad (5.9)$$

Для валка за рис. 5.3, характерним є перетин, зображений на рис. 5.4.

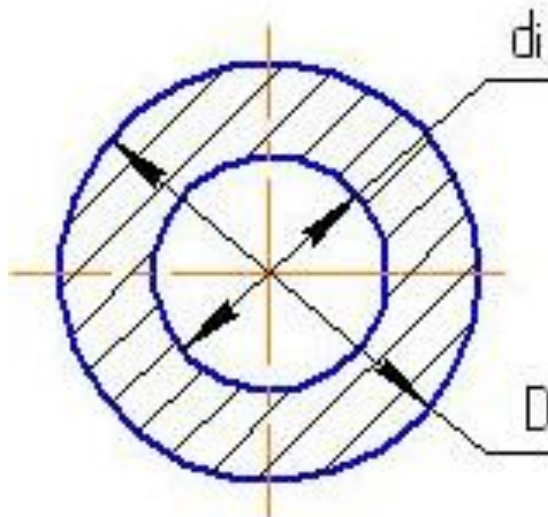


Рисунок 5.4 – Перетин валка вальців

Для визначення моментів опору перетинів валка, , використовуються наступні

формули:

$$W_x = \frac{\pi \cdot Di^3}{32} \cdot \left(1 - \frac{di^4}{Di^4}\right). \quad (5.10)$$

За формулою (5.10) визначимо моменти опору перетинів валка:

– перетин В-В:

$Di=0.66\text{м}$ – зовнішній діаметр перетину,

$di=0.42\text{м}$ – внутрішній діаметр перетину,

$$W_{B-B} = \frac{\pi \cdot D_1^3}{32} \cdot \left(1 - \frac{d_1^4}{D_1^4}\right) = \frac{3.14 \cdot 0,66^3}{32} \left(1 - \frac{0,42^4}{0,66^4}\right) = 0,024\text{м}^3;$$

– перетин Б-Б:

$Di=0.4\text{м}$ – зовнішній діаметр перетину,

$di=0.15\text{м}$ – внутрішній діаметр перетину,

$$W_{B-B} = \frac{\pi \cdot D_1^3}{32} \cdot \left(1 - \frac{d_1^4}{D_1^4}\right) = \frac{3.14 \cdot 0,48^3}{32} \left(1 - \frac{0,15^4}{0,48^4}\right) = 0,01075\text{м}^3;$$

– перетин А-А:

$Di=0.25\text{м}$ – зовнішній діаметр перетину,

$di=0.12\text{м}$ – внутрішній діаметр перетину,

$$W_{A-A} = \frac{\pi \cdot D_1^3}{32} \cdot \left(1 - \frac{d_1^4}{D_1^4}\right) = \frac{3.14 \cdot 0,4^3}{32} \cdot \left(1 - \frac{0,15^4}{0,4^4}\right) = 0,006159\text{м}^3.$$

Визначимо згинальні моменти та напруження згинання, що діють у перетинах:

– перетин А-А:

$$M_{A-A} = R_2 \cdot l_1 = 675000 \cdot 0,19 = 128250\text{Н} \cdot \text{м},$$

$$\sigma_{A-A} = \frac{M_{A-A}}{W_{A-A}} = \frac{128250}{0,006159} = 20,82\text{МПа};$$

– перетин Б-Б:

$$M_{B-B} = R_2 \cdot l_2 = 675000 \cdot 0,22 = 148500\text{Н} \cdot \text{м},$$

$$\sigma_{3_{B-B}} = \frac{M_{B-B}}{W_{B-B}} = \frac{148500}{0,01075} = 13,814 \text{ МПа};$$

– перетин В-В:

оскільки в перетині В-В діє максимальний згинальний момент, то для нього будемо використовувати формулу для максимального моменту:

$$\begin{aligned} M_{max} &= M_{B-B} = \frac{P}{8} \cdot (2 \cdot l_3 - b) = \frac{1350000}{8} \times \\ &\times (2 \cdot 1.93 - 1.34) = 425250 \text{ Н} \cdot \text{м}, \\ \sigma_{3_{B-B}} &= \frac{M_{B-B}}{W_{B-B}} = \frac{425250}{0,024} = 17,719 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Сумарні нормальні напруження визначаються для кожного із небезпечних перетинів за наступною формулою [7]:

$$\sigma_{c_i} = \kappa \cdot \sigma_{3_i}, \quad (5.11)$$

де σ_{3_i} – напруження згинання;

κ - коефіцієнт запасу, який приймається в межах $1,2 \div 1,5$,

–перетин А-А:

$$\sigma_{cA-A} = \kappa \cdot \sigma_{3_{A-A}} = 1,2 \cdot 20,82 = 24,984 \text{ МПа};$$

– перетин Б-Б:

$$\sigma_{cB-B} = \kappa \cdot \sigma_{3_{B-B}} = 1,2 \cdot 13,814 = 16,577 \text{ МПа};$$

– перетин В-В:

$$\sigma_{cB-B} = \kappa \cdot \sigma_{3_{B-B}} = 1,2 \cdot 17,719 = 21,263 \text{ МПа}.$$

Крім згинальних моментів і температурних напружень на валок діє крутний момент від приводу вальців.

Крутний момент, що діє на валок, визначається за формулою:

$$M_{kp} = 9,55 \cdot \left(\frac{N}{n} \right), \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (5.12)$$

де N – потужність, яка передається на валок від електродвигуна, κBm ; $N=132\kappa Bm$;
 n – кількість обертів валка, об/хв.

$$n = \frac{15 \cdot (U_1 + U_2)}{\pi \cdot R}, \quad (5.13)$$

де R – радіус зовнішньої поверхні бочки валка, $R = 0,33\text{м}$;

U_1 – швидкість заднього валка, $U_1 = 0,58\text{м/с}$;

U_2 – швидкість переднього валка, $U_2 = 0,54\text{м/с}$,

$$n = \frac{(0,58 + 0,54) \cdot 15}{\pi \cdot 0,33} = 16,2 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

$$M_{kp} = 9,55 \cdot \left(\frac{N}{n} \right) = 9,55 \cdot \left(\frac{132000}{16,2} \right) = 77814,815 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (5.14)$$

За величиною крутного моменту знаходяться дотичні напруження в небезпечних перетинах:

$$\tau_{pi} = \frac{M_{kp}}{W_{pi}}, \quad (5.15)$$

де W_{pi} – полярний момент опору відповідного перетину валка, м^3 :

$$W_{pi} = 2 \cdot W_x. \quad (5.16)$$

– для перетину В-В маємо:

$$\tau_{B-B} = \frac{M_{kp}}{2 \cdot W_{B-B}} = \frac{77814,815}{2 \cdot 0,024} = 1,69 \text{ МПа};$$

– для перетину Б-Б маємо:

$$\tau_{B-B} = \frac{M_{kp}}{2 \cdot W_{B-B}} = \frac{77814,815}{2 \cdot 0,01075} = 3,62 \text{ МПа};$$

– для перетину А-А маємо:

$$\tau_{A-A} = \frac{M_{kp}}{2 \cdot W_{A-A}} = \frac{77814,815}{2 \cdot 0,006159} = 6,317 \text{ МПа}.$$

Еквівалентне напруження для небезпечних перетинів складає:

– перетин А-А:

$$\begin{aligned} \sigma_{екв}^{A-A} &= \frac{1-\mu}{2} \cdot \sigma_{c_{A-A}} + \frac{1+\mu}{2} \cdot \sqrt{\sigma_{c_{A-A}}^2 + 4 \cdot \tau_{A-A}^2} = \\ &= \frac{1-0,23}{2} \cdot 24,984 + \frac{1+0,23}{2} \cdot \sqrt{24,984^2 + 4 \cdot 6,317^2} = 26,837 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

– перетин Б-Б:

$$\begin{aligned} \sigma_{екв}^{B-B} &= \frac{1-\mu}{2} \cdot \sigma_{c_{B-B}} + \frac{1+\mu}{2} \cdot \sqrt{\sigma_{c_{B-B}}^2 + 4 \cdot \tau_{B-B}^2} = \\ &= \frac{1-0,23}{2} \cdot 16,577 + \frac{1+0,23}{2} \cdot \sqrt{16,577^2 + 4 \cdot 3,62^2} = 17,507 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

– перетин В-В:

$$\begin{aligned} \sigma_{екв}^{B-B} &= \frac{1-\mu}{2} \cdot \sigma_{c_{B-B}} + \frac{1+\mu}{2} \cdot \sqrt{\sigma_{c_{B-B}}^2 + 4 \cdot \tau_{B-B}^2} = \\ &= \frac{1-0,23}{2} \cdot 21,263 + \frac{1+0,23}{2} \cdot \sqrt{21,263^2 + 4 \cdot 1,69^2} = 21,427 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{екв,i} \leq [\sigma].$$

Для чавуну СЧ 15 ГОСТ 1412-85 допустиме напруження становить 37.5 МПа, тобто $37.5 \text{ МПа} > 26.84 \text{ МПа}$.

Умова міцності виконується.

6. ЧИСЛОВІ РОЗРАХУНКИ ТА 3-Д МОДЕЛЮВАННЯ

6.1. Розрахунок до модернізації

Для створення 3-D моделі відкриваємо програму (SolidWorks). В системі SolidWorks створюємо новий ескіз «Sketch» робимо креслення та проставляємо розміри.

З початку створюємо нову деталь New Part. У дереві FeatureManager обираємо Front Plane → Sketch. Далі обираємо Centerline і проводимо горизонтальну лінію через центр екрана. Це буде наша вісь. Тепер будуємо нашу модель та проставляємо розміри.(Рис.6.1)

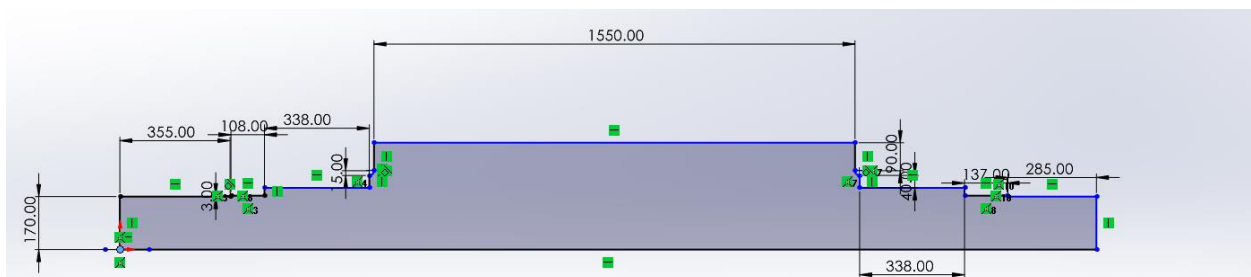


Рис.6.1 Ескіз деталі

Далі робимо заокруглення і обертання та вибираємо функцію Chamfer та робимо фаски на торцях з параметрами: 5 мм від краю під 45 градусів та 2 мм під 45 градусів (Рис 6.2-6.3.)

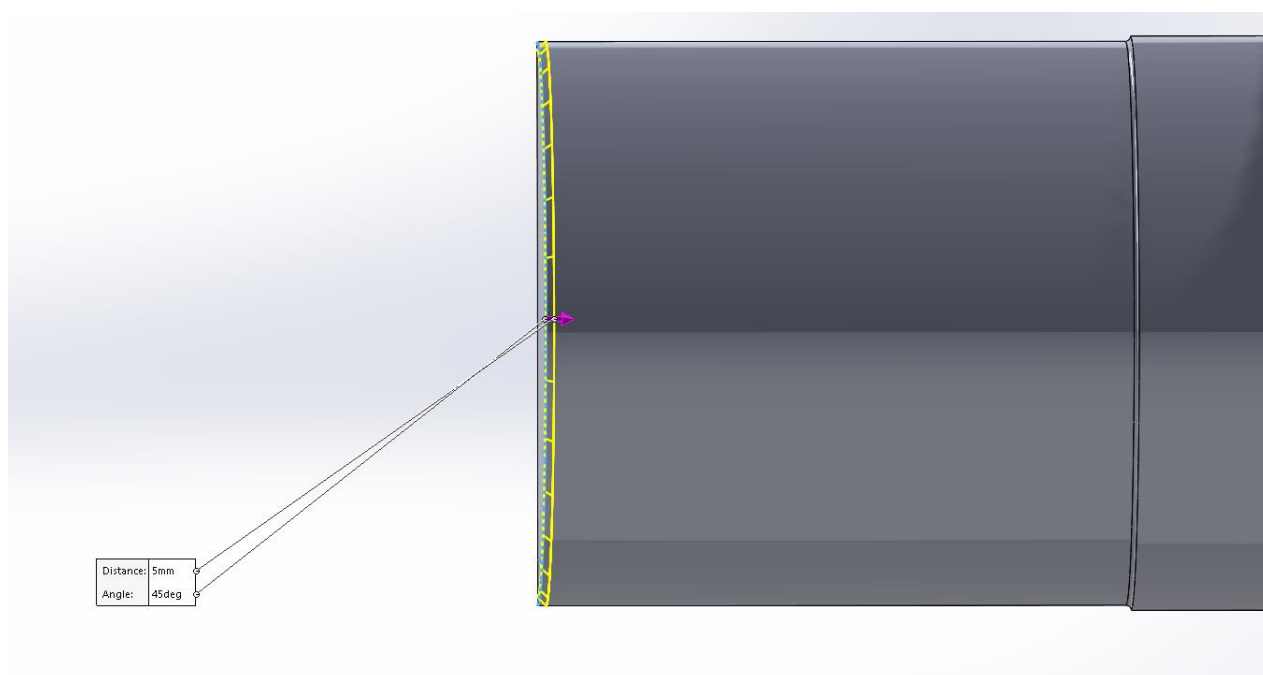


Рис.6.2 Функція Chamfer

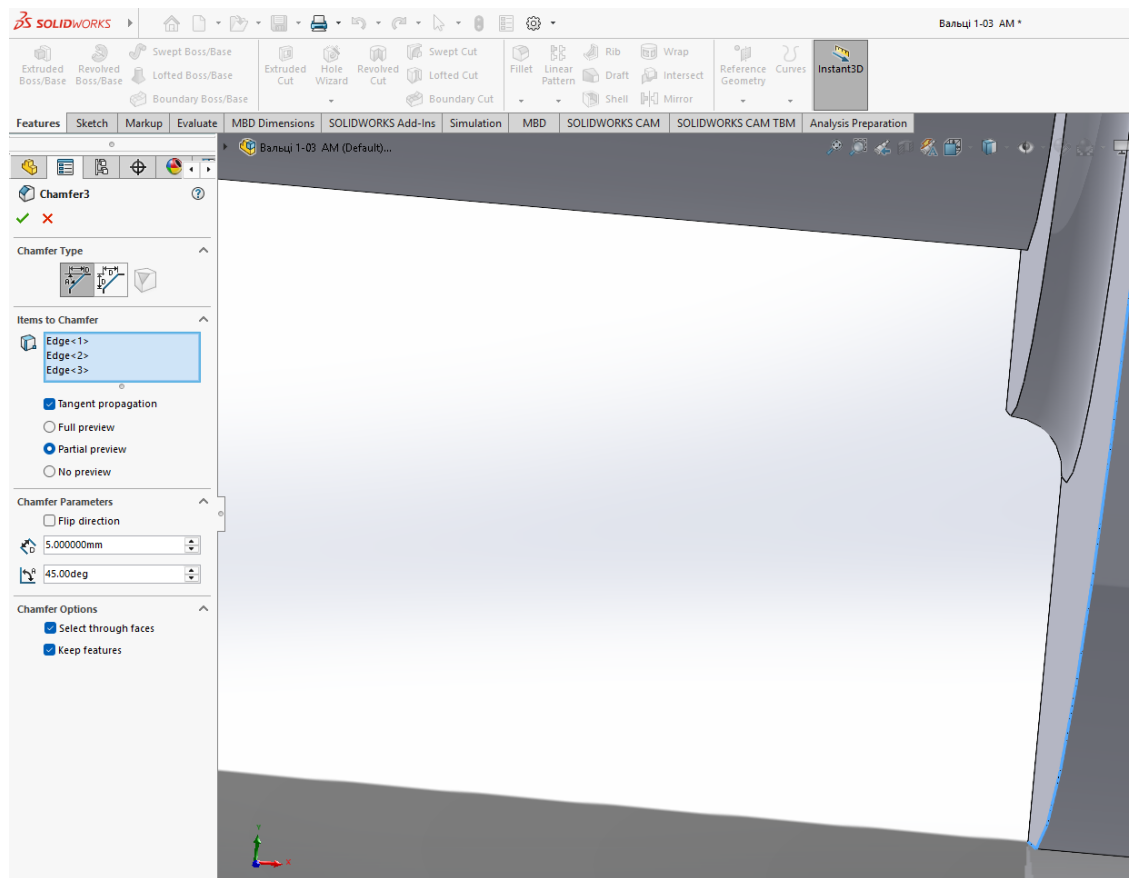


Рис.6.3 Функція Chamfer. Більш детально

Виходимо зі Sketch та обираємо Features → Revolve Boss/Base, та обертаємо навколо осі на 180 градусів.(Рис6.4)

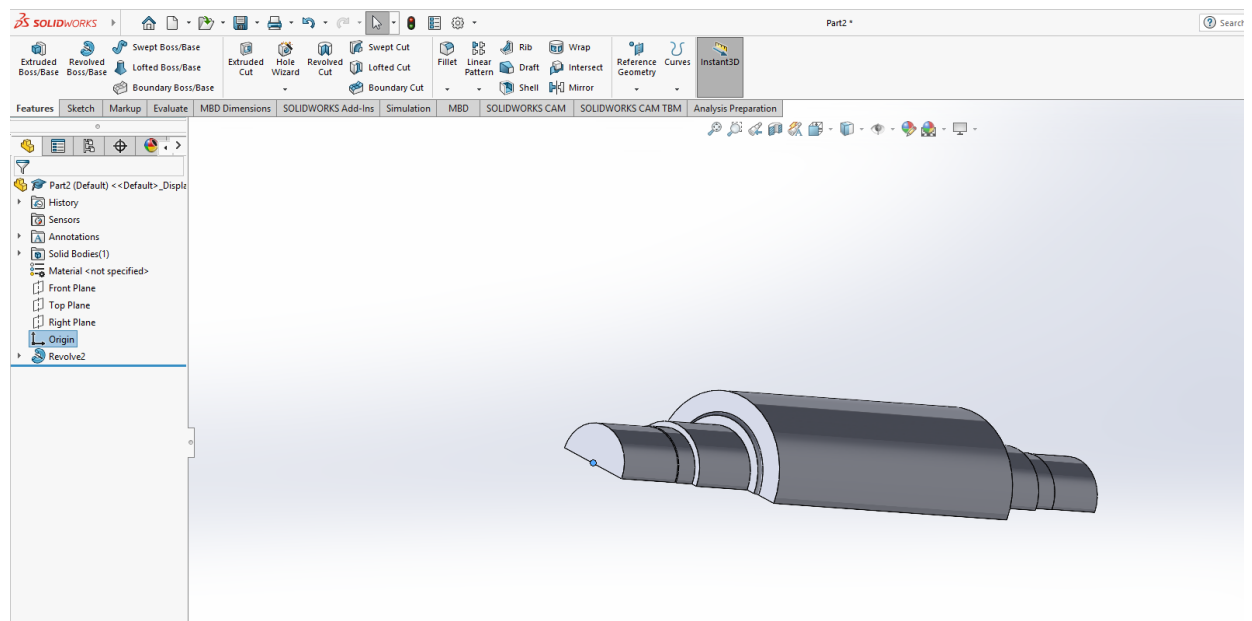


Рис.6.4-Тіло обертання

Далі нам потрібно утворити центральний канал. Для цього скористаємося командою «Cut-Extrude»(Рис.6.5)

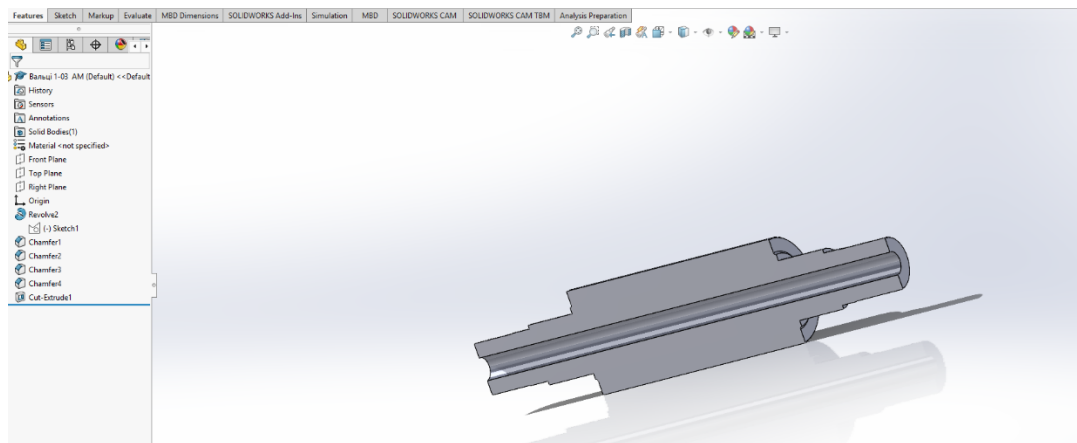


Рис. 6.5 Результат «Cut-Extrude»

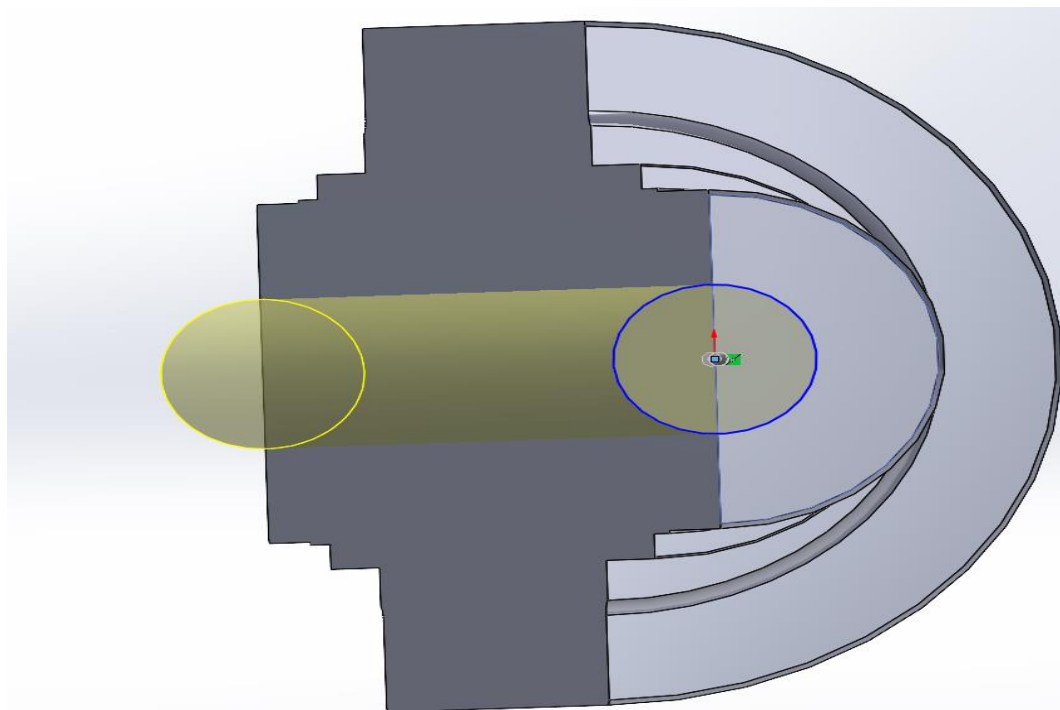


Рис.6.6. Процес «Cut-Extrude»

Далі створюємо центральний канал через Revolved Cut (обертова порожнина) і отримуємо результат.(Рис 6.6.)

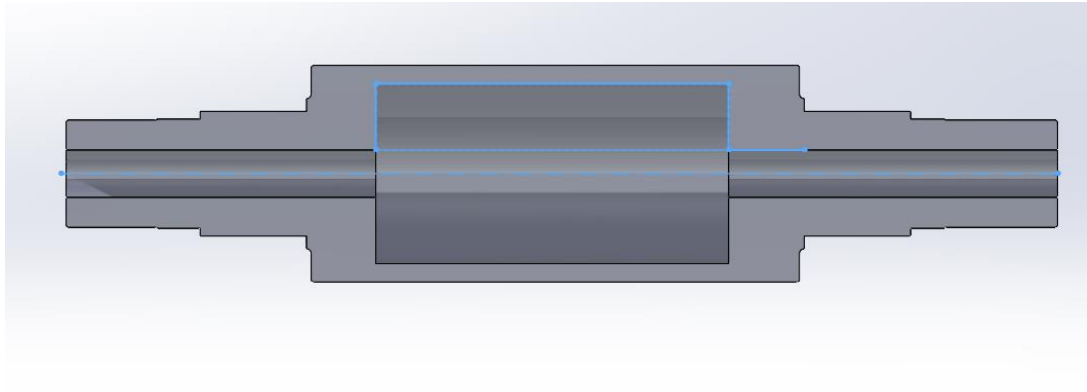


Рис.6.7. 3D-модель валка

У результаті моделювання отримано 3D-модель валка, яка стане вихідною геометричною основою для подальшого проведення чисельних розрахунків у програмному середовищі ANSYS.(Рис.6.7.)

Для розрахунків вузла використовуємо програмне забезпечення ANSYS 2025 R1 STUDENT, призначене для подібного типу задач. Модуль програмного забезпечення, яке я використав це – Static Structural.

Розрахунок на міцність в середовищі ANSYS:

Матеріал: Чавун СЧ15 за ГОСТ 1412-85

μ – коефіцієнт Пуассона ($\mu=0,23$);

Модуль пружності $E - 1,2 \cdot 10^{11}$ Па

З початку нам треба зберегти свій проект у форматі STEP.

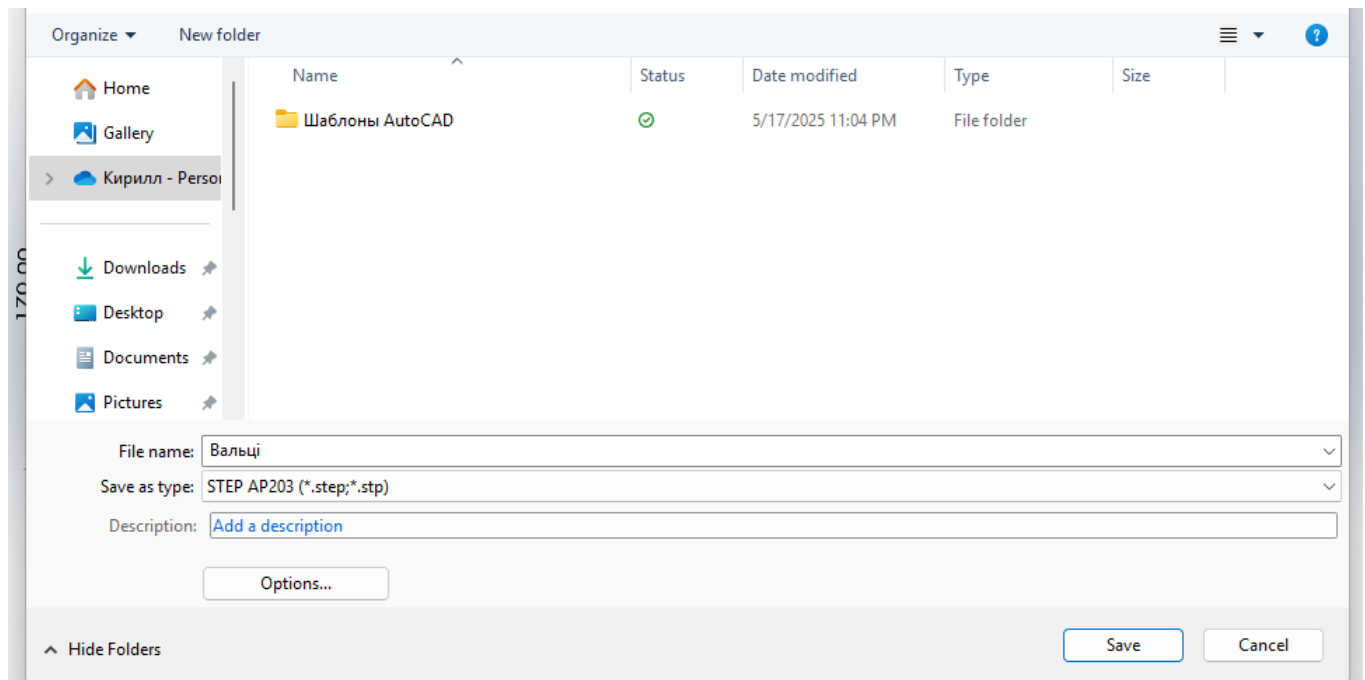


Рис.6.8-Збереження файлу у форматі STEP

Далі відкриваємо Ansys та створюємо схему проекту Static Structural (рис. 6.9)

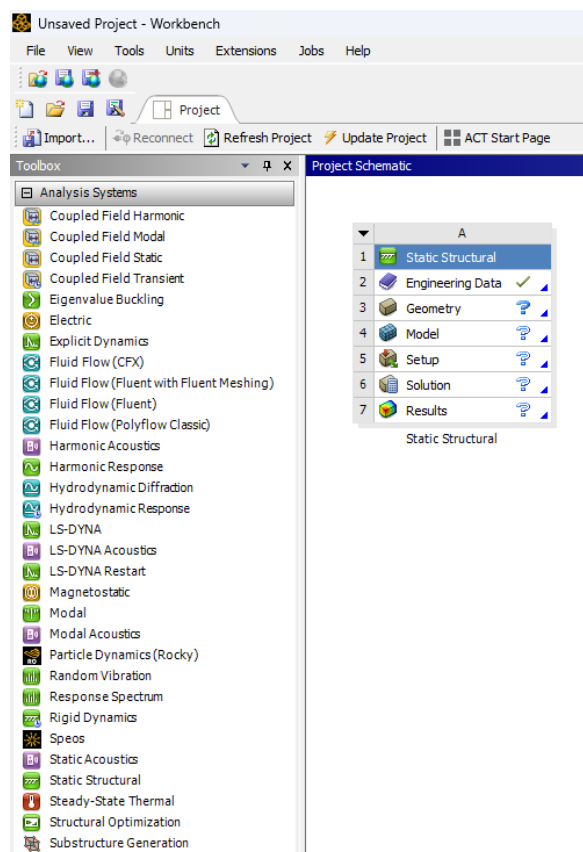


Рис.6.9. Створення середовища (Static Structural) для виконання розрахунку

Далі виконуємо імпорт геометрії в через «Import External Geometry File» (рис.

6.10), та вибираємо заздалегідь створену модель у форматі STEP.

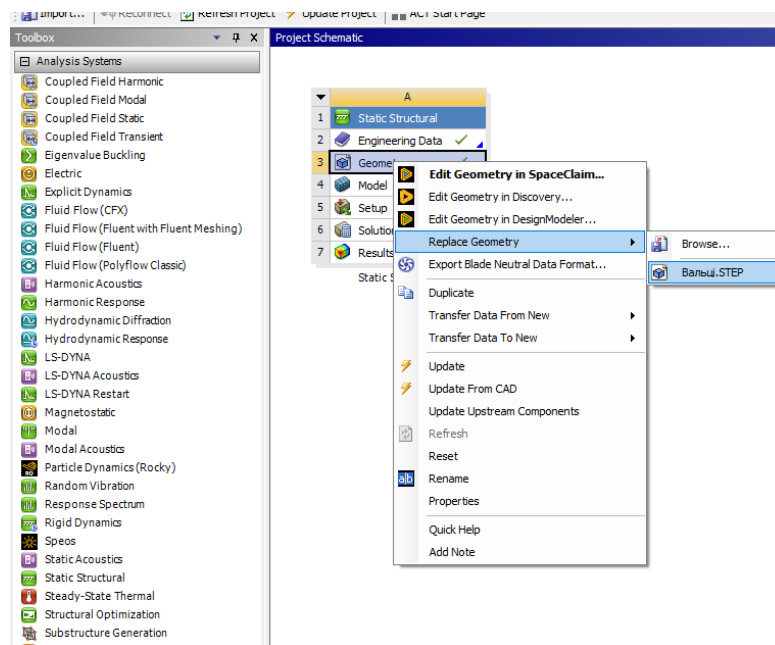


Рис.6.10.-Імпорт геометрії

Потім відкриваємо вікно «Geometry». Ділимо фігуру на дві частини для правильного задавання закріплень, створюючи лінії та використовуючи «Extrude» через «Cut Material», «Both - Summetric», «Through All» (рис. 6.11.). Також об'єднаємо отримані частинки в одне ціле(рис. 6.12.)

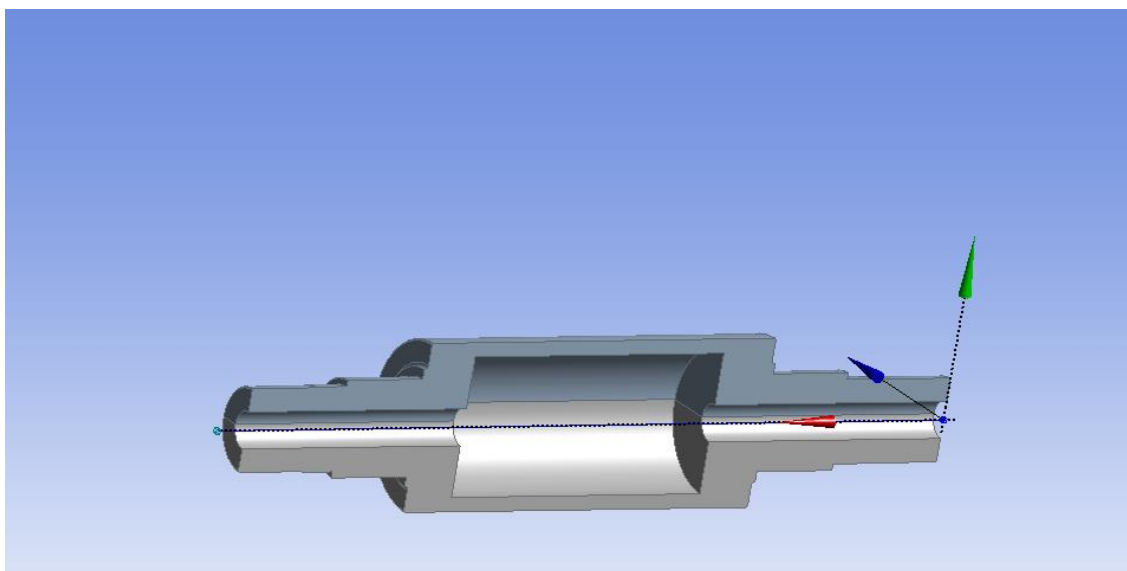


Рис.6.11.Розділена фігура

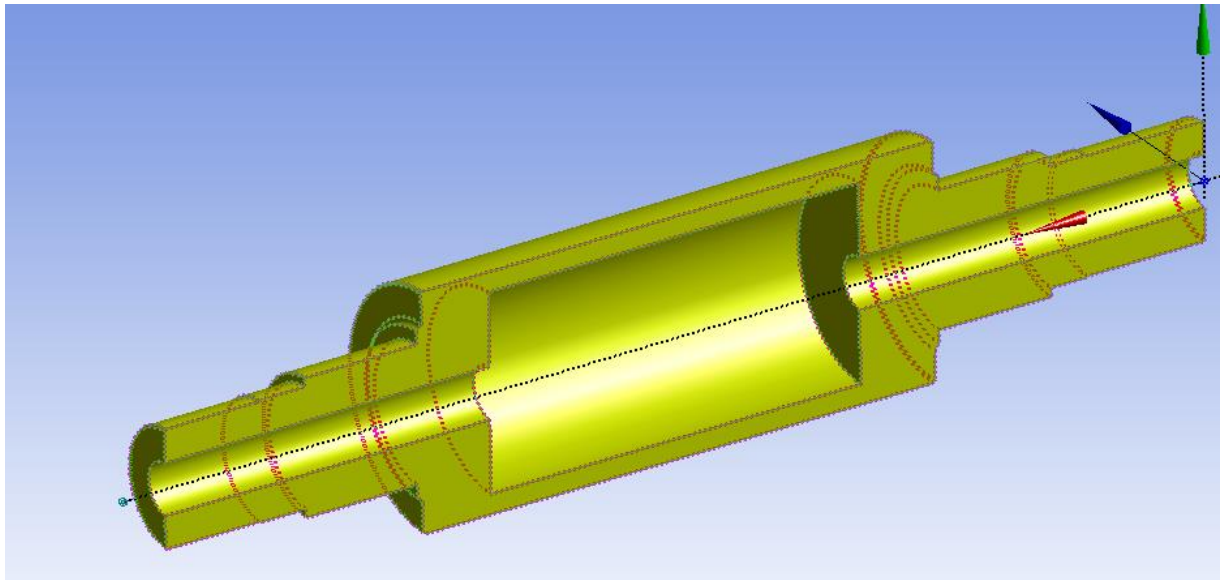


Рис.6.12.Об'єднана фігура

На Рис.6.12 об'єднали фігуру за допомогою формули Boolean та натиснули Generate. Далі відкриваємо вкладку «Model»(Рис.6.13.) та створюємо сітку за допомогою автоматичної генерації та задаємо генерацію «Mesh» з кількістю елементів сітки — 30.(Рис.6.14.)

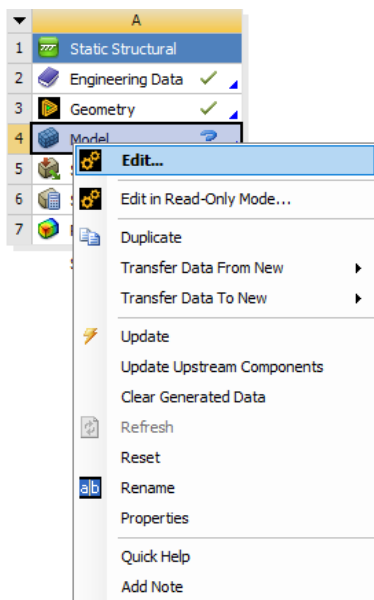


Рис.6.13.Відкриття вікна Model

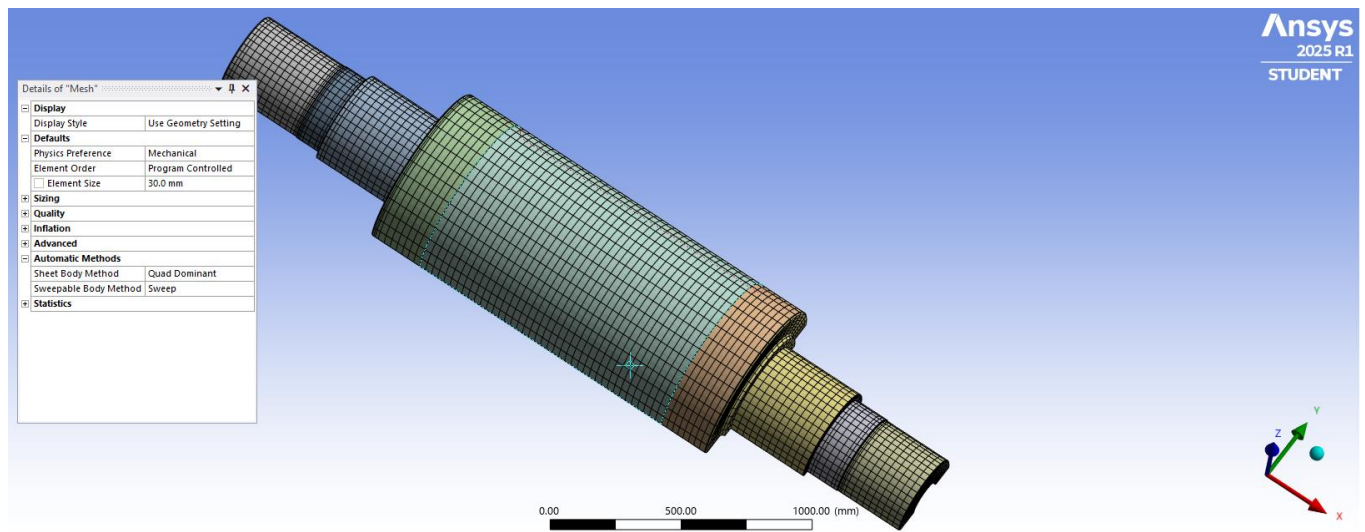


Рис.6.14.Результат функції (Mesh)

Переходимо до задання та встановлюємо дистанційне закріплення «Remote Displacement». Оскільки в розрахунку використовується лише половина моделі, необхідно задати умови таким чином, щоб симуляція відповідала повному об'єкту (рис. 6.15).

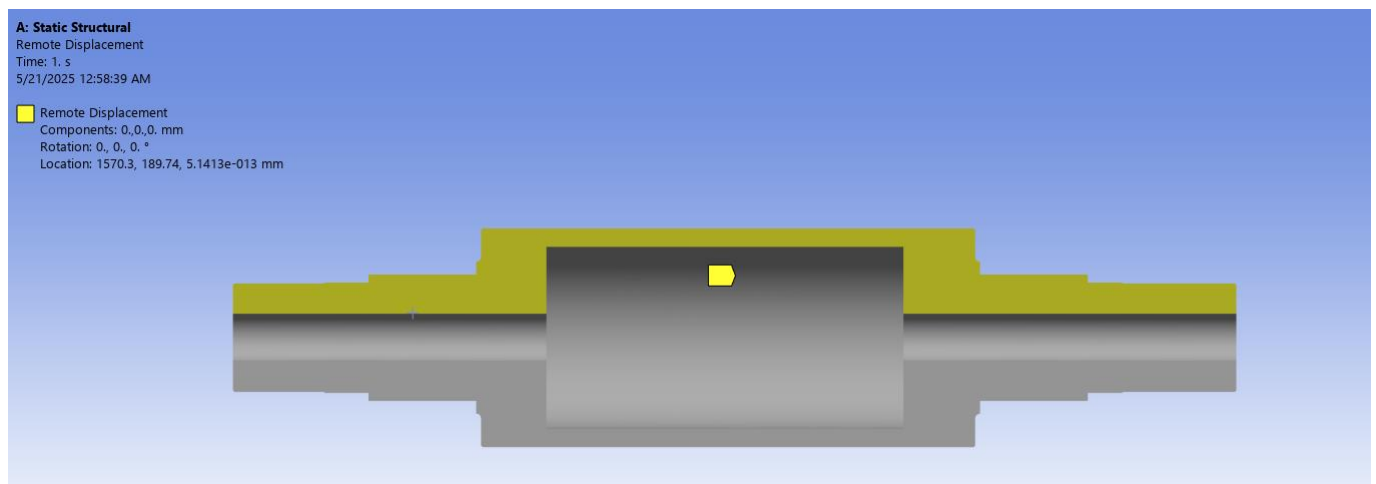


Рис.6.15. Результат закріплення «Remote Displacement».

Накладаємо крутний момент (Moment) силою 7 781 481 Н*мм (за формулою 5.14.,Розділ 5) (Рис.6.16)

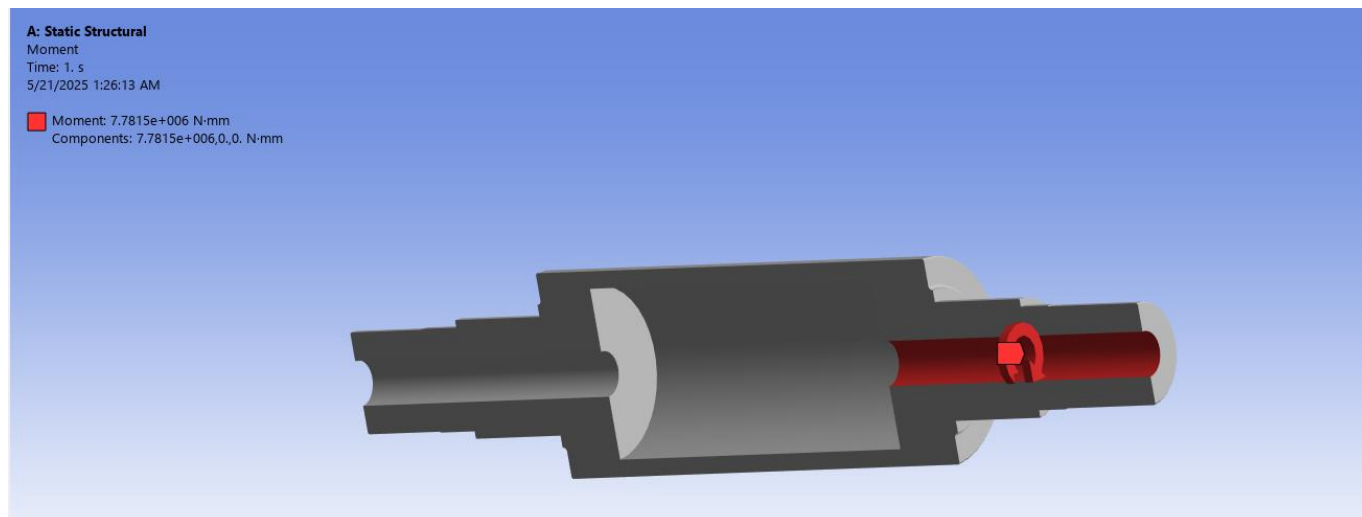


Рис.6.16.Результат накладання крутного моменту (Moment)

Далі виконуємо накладення жорсткого закріплення (Fixed Support), яке обмежує всі ступені вільності для вибраної поверхні або області. Це закріплення імітує повне нерухоме з'єднання, за якого вузли моделі не можуть зміщуватись ані поступально, ані обертально. Такий тип фіксації зазвичай застосовується до торцевої частини деталі або зони, що контактує з опорними елементами конструкції. (Рис.6.16.)

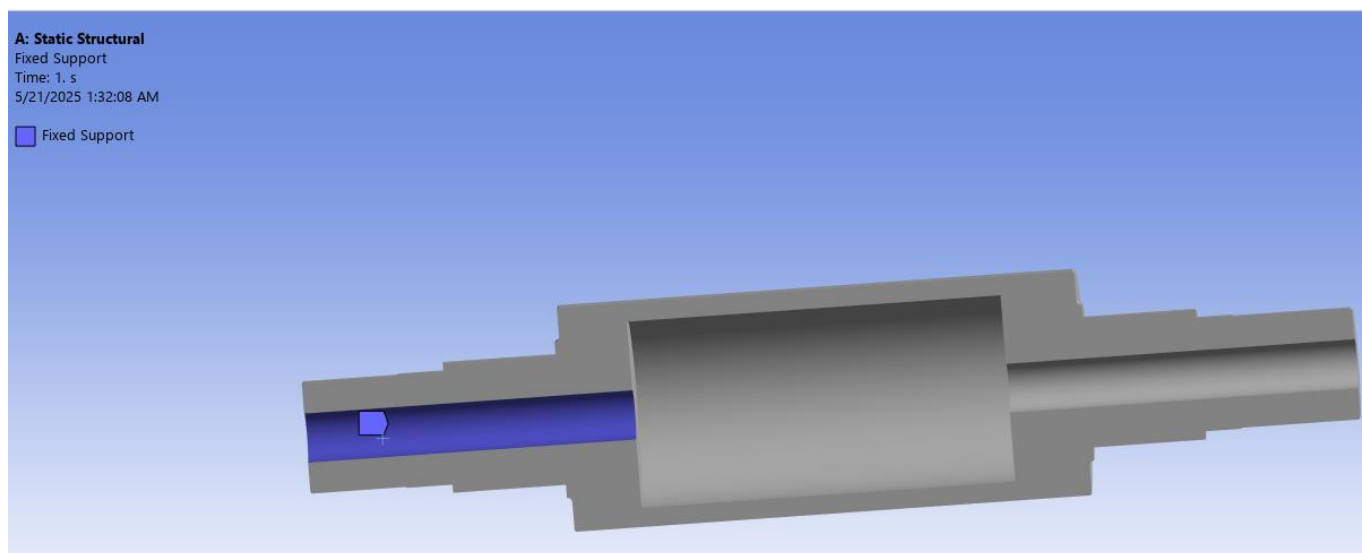


Рис.6.17.Результат жорсткого закріплення

На завершальному етапі встановлюємо циліндричне закріплення (Cylindrical Support). (Рис.6.18.)

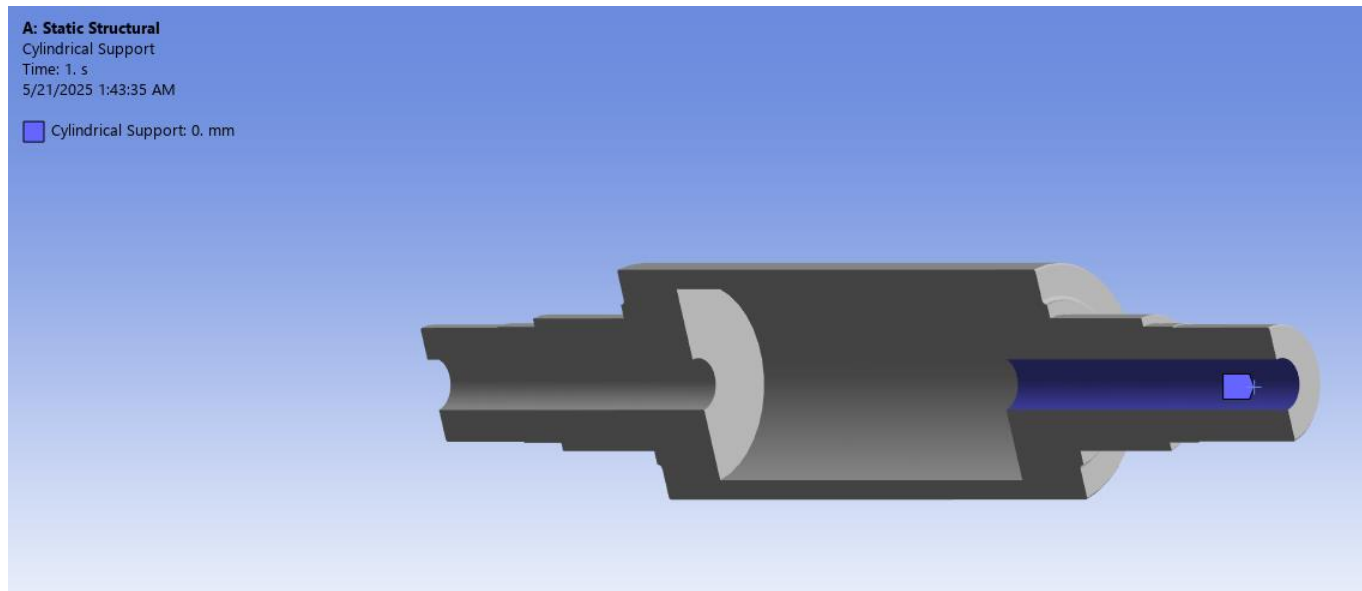


Рис.6.18.Результат Cylindrical Support

Після цього переходимо до вкладки Solution, де додаємо необхідні результати для аналізу — зокрема, Total Deformation (загальні деформації) та Equivalent Stress (еквівалентні напруження за Мізесом). Після додавання бажаних параметрів натискаємо команду Solve, щоб виконати розрахунок заданої моделі.

За результатами загальних деформацій (Total Deformation), які показали де знаходяться найбільші навантажені зони (рис. 6.19).

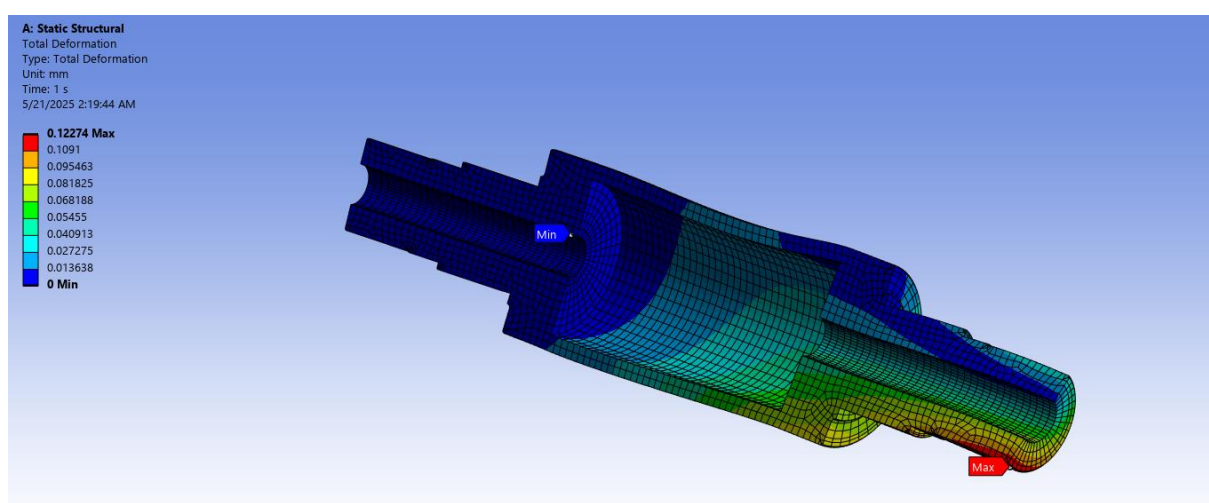


Рис.6.19.Результат розрахунку загальних деформацій

Найбільш навантаженим і деформованим місцем є червона зона де прикладено момент від приводу. Найбільша деформація сягає 0,12 мм на правому торці робочої поверхні. Результат хороший тому конструкція ефективна і надійна.

Максимальні приведені напруження за Мізесом Бекв = 7,29 МПа, не перевищують допустимих (σ) = 80 МПа

Коефіцієнт запасу міцності конструкції: 10,97

Багаторазовий запас міцності та конструкція корпусу є працездатною.

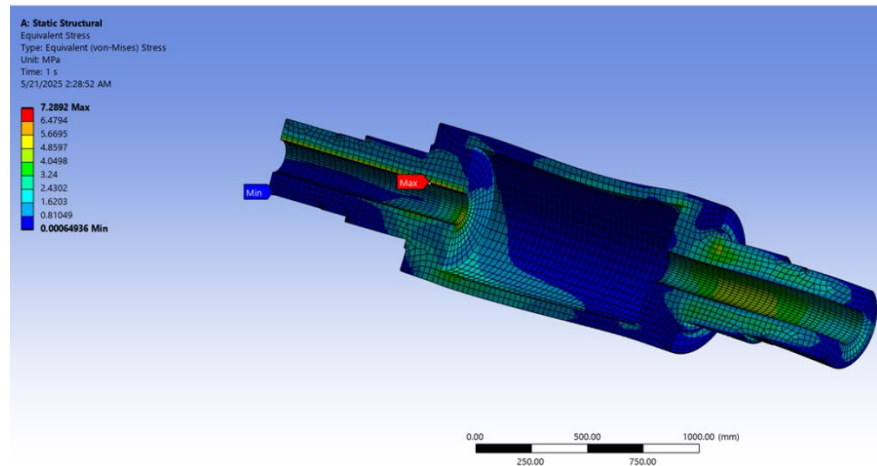
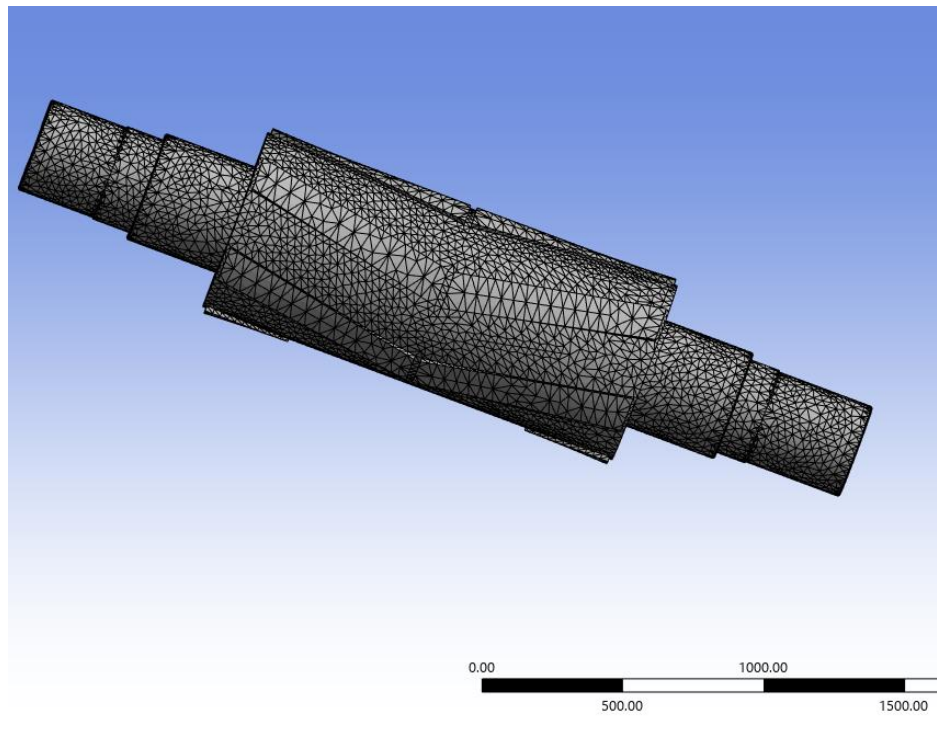


Рис.6.20 Схема еквівалентних напружень за Мізесом Бекв

6.2. Розрахунок модернізованої конструкції

Переходимо в ANSYS Workbench та створюємо сітку за допомогою автоматичної генерації та задаємо генерацію «Mesh» з кількістю елементів сітки — 30.(Рис.6.21.)



(Рис.6.21.) Результат генерації (Mesh)

Далі задаються граничні умови, зокрема використовується дистанційне закріплення (Remote Displacement). Оскільки для розрахунку взята лише половина моделі, умови прикладаються так, щоб результат відповідав поведінці повної конструкції (рис. 6.22).

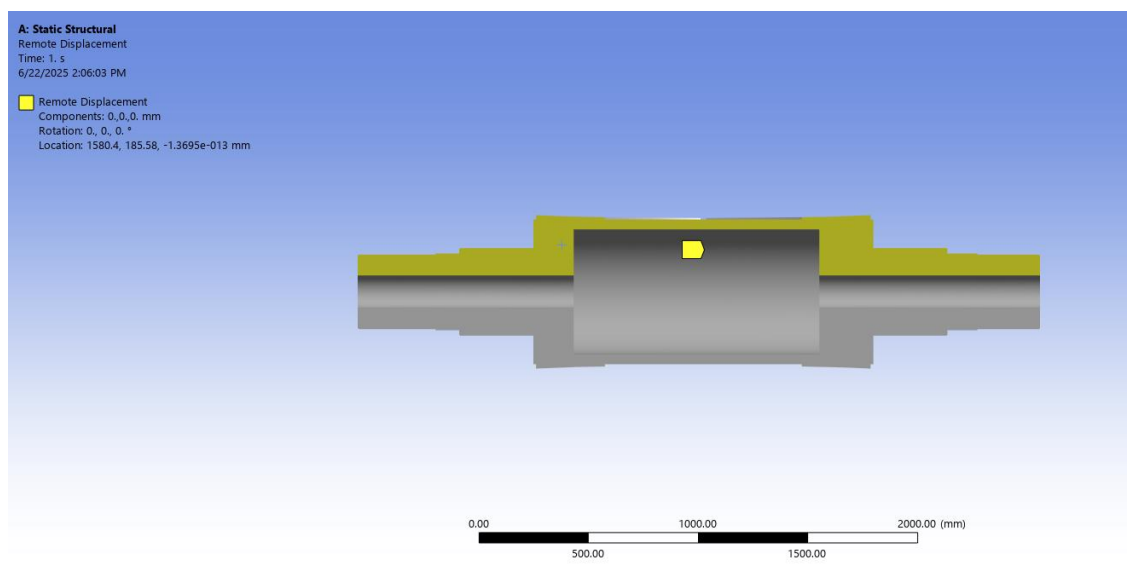


Рис.6.22. Результат закріплення «Remote Displacement»

Накладаємо крутний момент (Moment) силою 7 781 481 Н*мм. (Рис.6.23.)

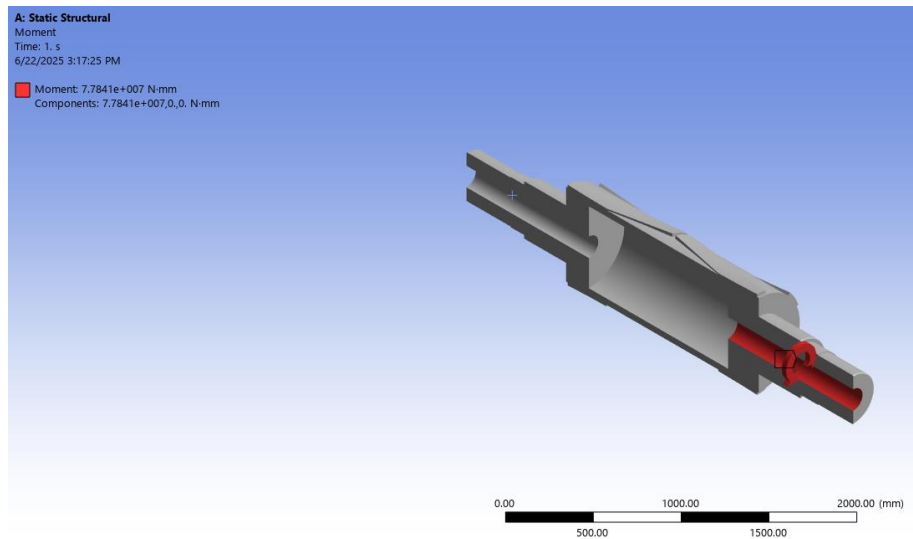


Рис.6.23. Результат закріплення «Moment»

Проставляємо (Fixed Support). (Рис.6.24.)

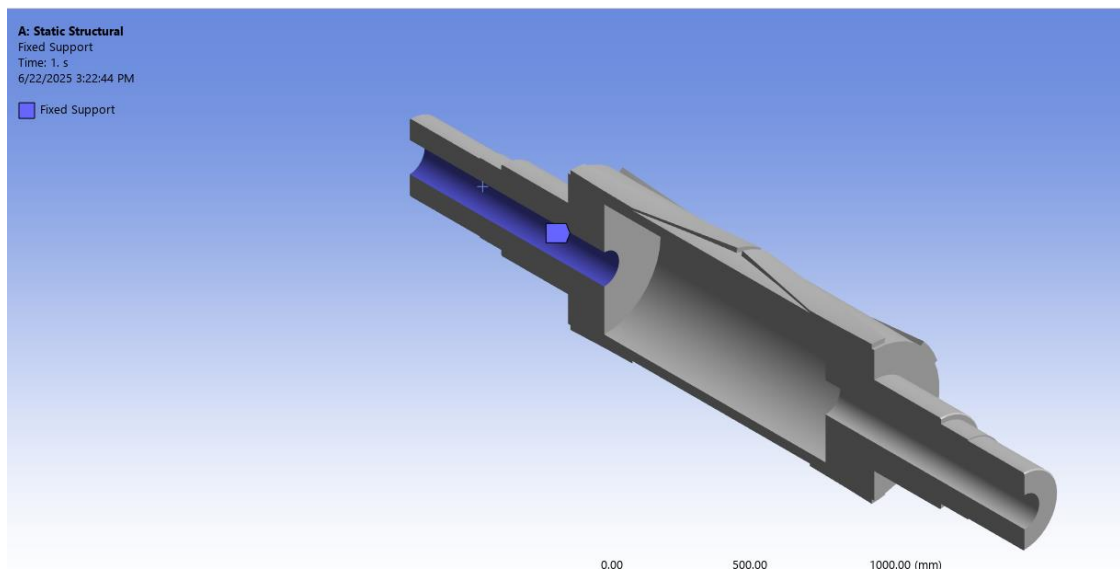


Рис.6.24. Результат (Fixed Support)

Далі переходимо до вкладки Solution та додаємо потрібні параметри для подальшого аналізу, зокрема Total Deformation (загальну деформацію) та Equivalent Stress (еквівалентні напруження за Мізесом). Після цього запускаємо розрахунок моделі, натиснувши кнопку Solve та отримаємо такі результати (Рис.6.25.-6.26.)

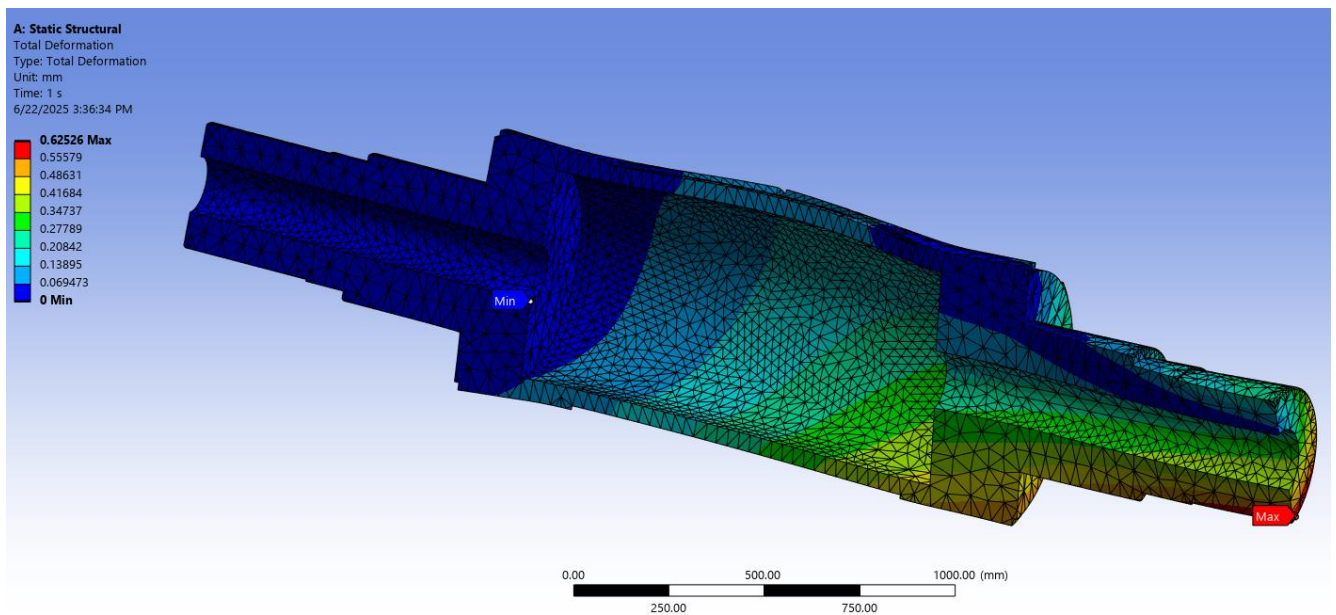


Рис.6.25. Результат (Total Deformation)

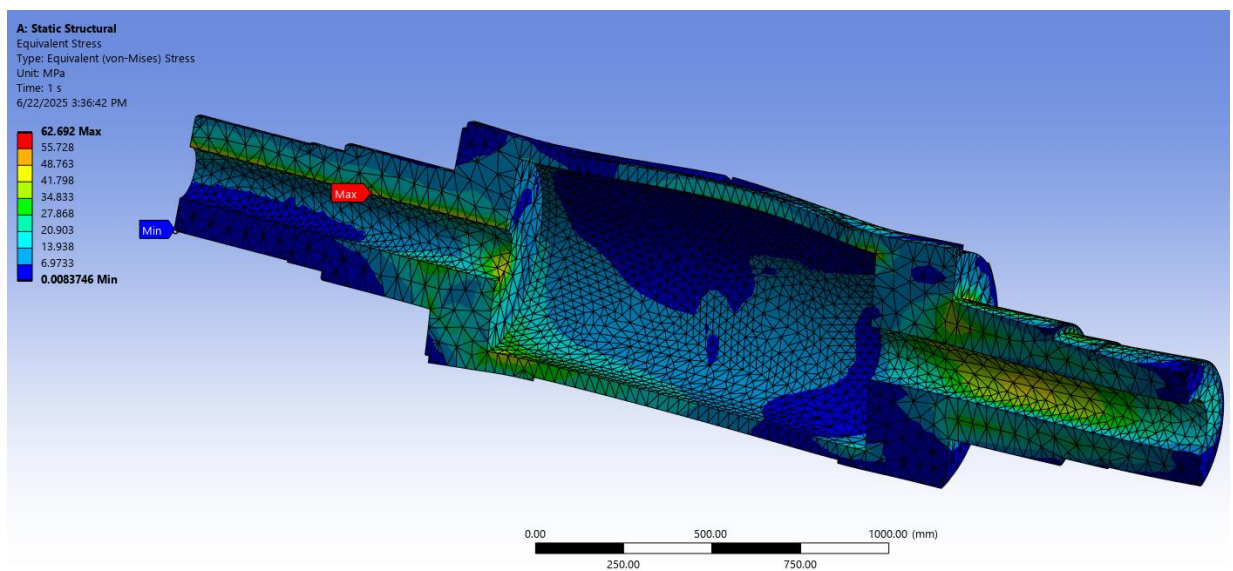


Рис.6.26. Результат (Equivalent Stress)

За результатами аналізу загальних деформацій (Total Deformation) для модернізованої моделі видно, що найбільше деформується зона на правому торці валка, де прикладено крутний момент (рис. 6.25). Максимальна деформація становить 0,625 мм. Це нормальний показник, що свідчить про достатню жорсткість конструкції.

Максимальні напруження за Мізесом (рис. 6.26). досягають 62,7 МПа, що не перевищує допустиме значення для матеріалу СЧ15 — 80 МПа. Це означає, що конструкція працює в межах безпеки.

Коефіцієнт запасу міцності складає приблизно 1,28, тобто конструкція витримує навантаження з запасом і залишається надійною навіть після внесених змін.

Отже, у ході дослідження було проведено порівняльний аналіз напружено-деформованого стану валка до та після модернізації. Обидві моделі було змодельовано у програмному середовищі ANSYS, з урахуванням однакових граничних умов та навантаження — крутного моменту, що прикладається на один із торців. Матеріал валка в обох випадках — сірий чавун СЧ15 згідно з ГОСТ 1412-85.

У немодернізованій конструкції максимальна деформація становила 0,122 мм, а максимальні напруження — лише 7,29 МПа, що забезпечило дуже високий коефіцієнт запасу міцності $n \approx 10,97$. Такий результат свідчить про значну перевитрату матеріалу та надмірну жорсткість.

Після модернізації валка конструкція була оптимізована з урахуванням геометричних змін. Максимальна деформація зросла до 0,625 мм, а еквівалентні напруження — до 62,7 МПа. Незважаючи на це, напруження не перевищують допустимого для СЧ15 (80 МПа), а коефіцієнт запасу міцності залишається на безпечному рівні — $n \approx 1,28$.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

7.1 Основні положення

Охорона праці важливий розділ в дипломній роботі, який вивчає причини нещасних випадків на виробництві, і який керується чинним законодавством України від 14 жовтня 1992 р. № 2694-ХІІ «Про охорону праці».

Відповідно до Конституції України, кожен громадянин має право на збереження здоров'я, зокрема через створення безпечних та здорових умов праці. Державна політика у галузі охорони праці формується Верховною Радою України на основі конституційних норм і спрямована на запобігання нещасним випадкам і профзахворюванням, а також забезпечення належного рівня охорони праці.

Згідно з наказом МНС України від 25.01.2012 № 67 (НПАОП 0.00-7.11-12), роботодавець зобов'язаний обладнати робочі місця та виробничі приміщення таким чином, щоб гарантувати безпеку працівників, забезпечити безпечне використання техніки та залучити персонал до вирішення питань охорони праці. У разі виконання робіт підвищеної небезпеки або експлуатації небезпечного обладнання слід отримати відповідні дозволи за вимогами постанови КМУ № 1107 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 922 від 29.08.2023).

Закон «Про охорону праці» визначає систему охорони праці як комплекс правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на захист життя, здоров'я і працездатності працівників під час виконання трудових обов'язків.

Тема дипломного проекту: «Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків». Робоче місце оператора розташоване поруч із вальцювальним верстатом. На ділянці облаштовано шість одиниць устаткування, площа приміщення становить 90 м², об'єм — близько 360 м³.

7.2 Аналіз небезпек та шкідливих умов

Відповідно до ДСанПіН «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища», виробничі фактори класифікуються як фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. На робочому місці оператора присутні переважно фізичні та психофізіологічні

чинники.

7.3 Фізичні джерела небезпек

Головними технологічними параметрами, що визначають умови обробки гумової суміші, є температура матеріалу й валків, швидкість обертання, сила тертя, зазор між валками та система подачі і повернення суміші.

Підвищена температура. Під час вальцювання суміш нагрівається, що призводить до підвищення температури поверхонь валків і повітря в зоні роботи. Для підтримання мікроклімату відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 улітку передбачається 21–23 °С, узимку — 19–21 °С за допомогою вентиляції. При цьому визначаємо категорію робіт 2б (роботи середньої тяжкості з витратами енергії 175–232 Вт (201-250 ккал/год.)).

- Рухомі частини обладнання. Дії оператора в зоні між валками без додаткових огорожувальних пристроїв можуть стати причиною травм. Окрім кнопки «Стоп», рекомендується впровадити дистанційне блокування валків.
- Шум. Основні джерела шуму — механічний шум від роботи верстата й аеродинамічний шум вентиляції. За результатами атестації рівень шуму становить 85–95 дБ (допустимий — до 75 дБ), згідно державних санітарних норм ДСН 3.3.6.037-99 "Державні санітарні норми виробничого шуму"

Це означає, що на більшості виробничих ділянок необхідно використовувати засоби індивідуального захисту слуху, такі як беруші або навушники ЗМ PELTOR Optime I (H510A), які забезпечують ефективне зниження рівня шуму до 30 дБ і відповідають вимогам стандартів ДСТУ EN 352-1:2018.

Для запобігання травматизму та шкідливому впливу передбачено:

- оптимальне облаштування робочих місць;
- контроль технологічного процесу;
- своєчасний планово-попереджувальний ремонт обладнання;
- використання колективних і індивідуальних ЗІЗ;
- встановлення сучасних запобіжних і огорожувальних пристроїв.

Згідно з НПАОП 25.1-3.01-07, до засобів індивідуального захисту відносяться:

- сітки для волосся без козирків;

- захисні трикотажні рукавиці;
- спецодяг із мінімальною часткою синтетики та додаткові захисні окуляри й респіратор;
- шкіряне взуття.

Сучасні вальці оснащені вимірювальними приладами, але мають недоліки: низька продуктивність, ненадійна герметичність і ризик при обслуговуванні. Тому їх замінюють на закриті моделі.

7.4 Електробезпека

Ділянка вальцювання віднесена до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електрострумом. Основні заходи захисту:

- обмеження доступу до струмопровідних частин;
- багаторівнева система розподілу мережі;
- захисне заземлення та занулення;
- пристрої захисного відключення (УЗО).

Заземлення здійснюється виносними чи контурними заземлювачами з опором до 4 Ом. Занулення дозволяє у випадку замикання фази на корпус створити коротке замикання й миттєво відключити живлення.

6.5 Пожежна безпека

За ДСТУ Б В.1.1-36:2016 приміщення вальцювальної ділянки належать до категорії «В» (пожежонебезпечні). Основними можливими причинами виникнення пожежі є наявність горючих матеріалів — гумових сумішей, мастильних матеріалів, допоміжних речовин.

Можливі причини пожежі:

- технологічні порушення;
- перегрів обмоток двигунів;
- витік оливи;
- недостатнє мастило підшипників;
- потрапляння води чи гумової суміші у мастильну систему.

Для гасіння слід мати:

- порошкові вогнегасники ВП-5 (3 шт.);

- вуглекислотні переносні ВВК-5 (3 шт.);
- автоматичну систему пожежної сигналізації.

Висновки

Для підвищення рівня охорони праці необхідно провести ідентифікацію небезпечних чинників та оцінку ризиків на всіх робочих місцях, після чого впровадити заходи за пріоритетною ієрархією:

1. усунення небезпек;
2. заміна менш безпечними методами;
3. технічні засоби захисту;
4. інформаційні та попереджувальні знаки;
5. індивідуальні засоби захисту.

Отже, етапи зниження небезпек — це усунення небезпек шляхом технічної модернізації технологічного обладнання та впровадження більш безпечних методів роботи, заміна небезпечних технологічних процесів або матеріалів на менш небезпечні аналоги, що мінімізують ризик виникнення аварійних ситуацій, використання технічних засобів колективного захисту, таких як вентиляційні системи, захисні екрани, автоматичні системи аварійної зупинки обладнання, розміщення інформаційних, попереджувальних та заборонних знаків, що забезпечують додаткову візуальну інформацію для персоналу щодо існуючих небезпек та правил безпеки, і застосування засобів індивідуального захисту.

Застосування такої багаторівневої системи управління ризиками дозволяє створити безпечне виробниче середовище, знизити рівень виробничого травматизму та професійних захворювань, а також забезпечити стабільність і безпеку роботи технологічного обладнання.

Управління професійними ризиками слід здійснювати згідно з вимогами ДСТУ ISO 45001:2019 "Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги з настановами щодо застосування".

8 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

8.1. Технологія виготовлення деталі

Під час розробки розділу «Технологія машинобудування» бакалаврської дипломної роботи здійснено розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Кришка». Було визначено оптимальну послідовність технологічних операцій для забезпечення необхідної якості виготовлення даної деталі. У подальших підрозділах наведено детальний опис усіх етапів побудови технологічного процесу виготовлення деталі «Кришка». Зазначена деталь (рис. 8.1) є складовим елементом вузла валка вальців для переробки гумової суміші та виконує функцію захисної кришки корпусу підшипникового вузла валка.

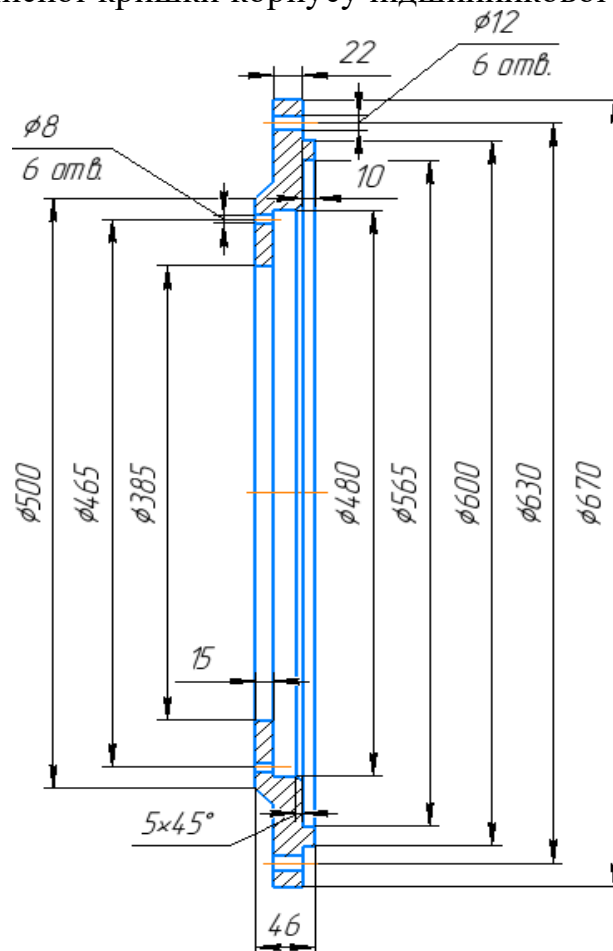


Рисунок 8.1 – Ескіз деталі "Кришка"

У результаті технологічного контролю креслення деталі виявлено наступне:

- на кресленні зазначені всі необхідні розміри для повного виготовлення деталі;
- шорсткість поверхонь вказана згідно з вимогами ГОСТ 2789-73;
- допуски розмірів, форми та розташування поверхонь встановлені відповідно до ГОСТ 25346-89, ГОСТ 25347-82 та ГОСТ 24643-81;
- вимоги до точності обробки поверхонь відповідають вимогам до класу шорсткості.

Матеріал деталі — сірий чавун СЧ15 згідно з ГОСТ 1412-85.

8.1.1 Вибір заготовки для виготовлення деталі

В якості матеріалу для виготовлення деталі використовується сірий чавун марки СЧ15 відповідно до ГОСТ 1412–85. Заготовку (рис. 8.2) отримують методом лиття в піщано-глинисті форми. Конструкція виливка є відносно простою, що дозволяє легко здійснити вилучення моделі з ливарної форми. Поглиблення для центрального отвору формується за допомогою ступінчастого стрижня.

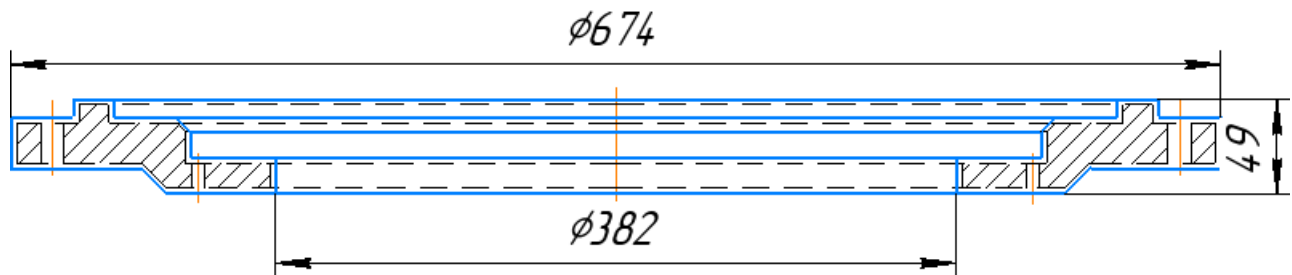


Рисунок 8.2 – Заготовка деталі "Кришка"

Лиття металів є одним із основних методів отримання заготовок у машинобудуванні, оскільки дає змогу виготовляти виливки складної форми та різної маси з необхідними фізико-механічними властивостями. Найбільш поширеним методом є лиття в одноразові піщані форми.

З метою підвищення якості обробки та продуктивності виготовлення деталі «Кришка» на всіх етапах механічної обробки застосовуються спеціальні пристрої зі швидкодіючими затискними елементами для фіксації заготовок.

8.1.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Технологічний процес виготовлення деталі "Кришка", що був розроблений у процесі виконання бакалаврського дипломного проекту, представлений у маршрутній карті, картах ескізів та операційних картах. [15, 16, 17].

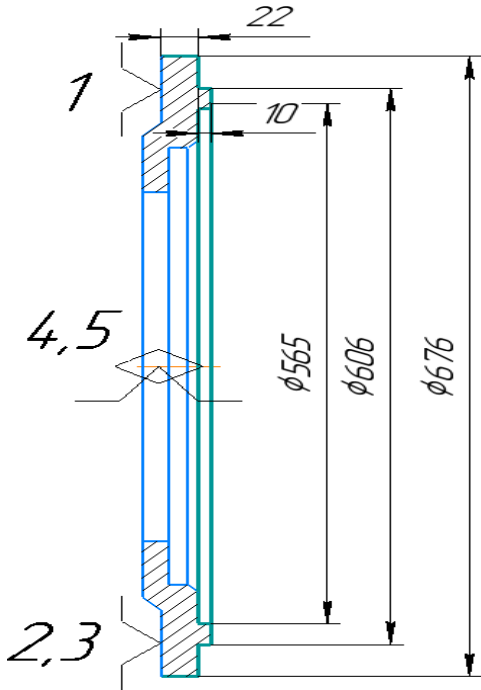
<i>Зм</i>	<i>Ар</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

[illegible]

ГОСТ 3.555-84 Форма 7

Дубл.													
Взамін.													
Підпис									Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата

Розробив	Воробйов К.В.			КПІ ім. Ігоря Сікорського ФАПІЕ			005
Перевірів	Борицький С.О.						
Н. контр.				КРИШКА			Н

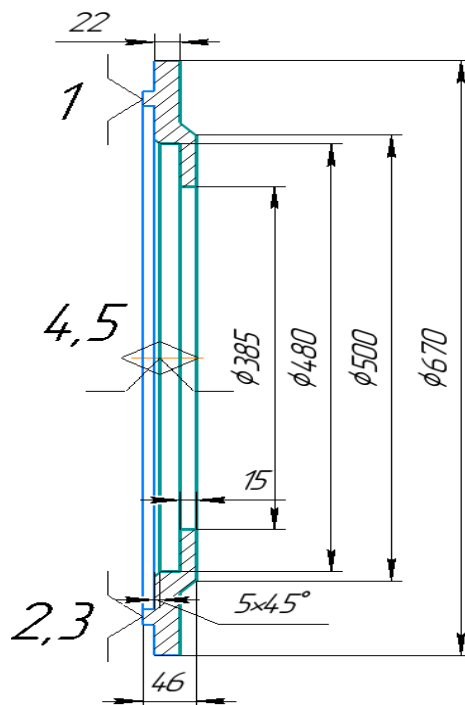


KE	Обробка різанням
----	------------------

Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

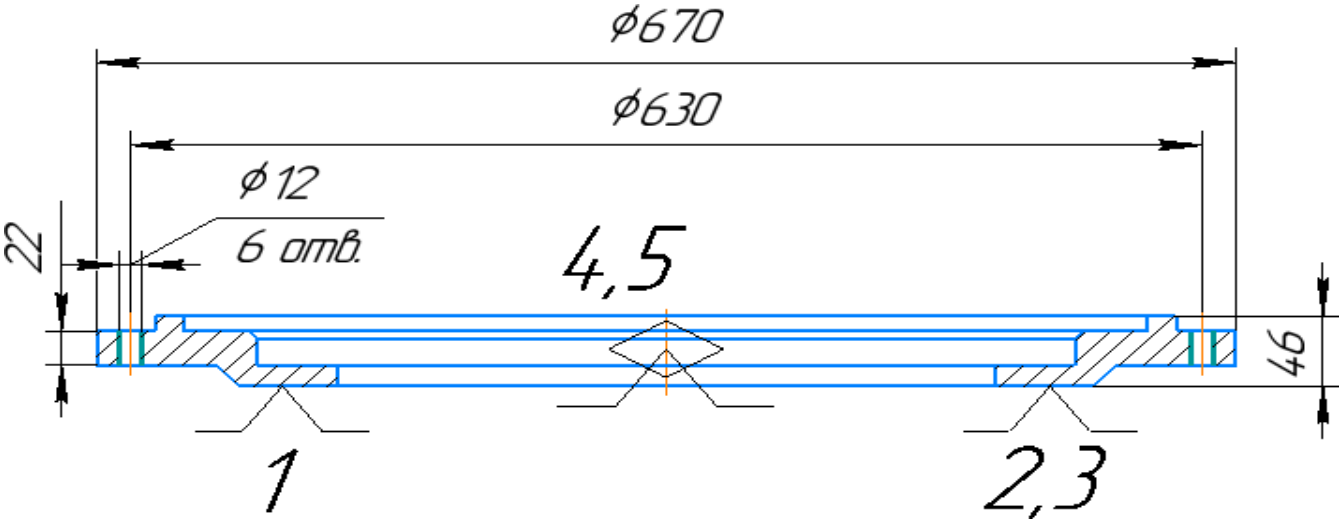
Розробив	Воробйов К.В.			КПІ ім. Ігоря Сікорського ФАПІЕ		010			
Перевірів	Борицук С.О.								
Н. контр.				КРИШКА			Н		

 KE

Обробка різанням

ГОСТ 3.555-84 Форма 7

Дубл.																
Взамін.																
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата		
Розробив	Воробйов К.В.					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФАПІЕ						015				
Перевірів	Борицук С.О.															
						КРИШКА								Н		
Н. контр.																



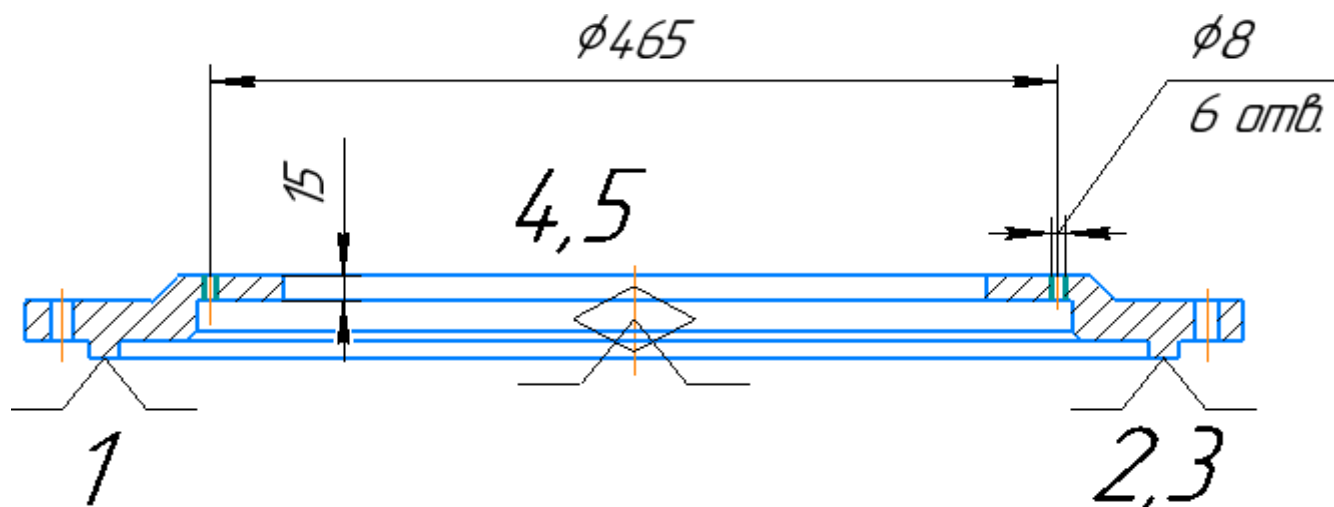
KE

Обробка різанням

Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

Розробив	Воробійов К.В.			КПІ ім. Ігоря Сікорського ФАПІЕ		020				
Перевірів	Борицький С.О.									
Н. контр.				КРИШКА				Н		

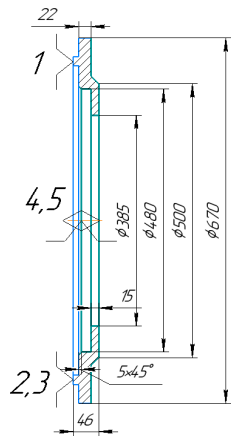


 KE

Обробка різанням

Форма 2

[illegible]

										ГОСТ 3.1404-86			Форма 2					
Дубл.										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата				
Взамін.																		
Підпис																		
Розробив	Воробйов К.В.							КПІ ім. Ігоря Сікорського										
Перевірів	Борицук С.О.							ФАПЕ										
Н. контр.								КРИШК			Н		010					
										А								
										Назва операції				Матеріал				
										Токарна				СЧ15 ГОСТ 1412-85				
										Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ		Коод	
											к2				2500		0,77	
										Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми				
										Токарний верстат 16K20								
										То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР				
														Емульсія				
Р							ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v				
P01	1. Точити діаметр Ø500 начорно, начисто;																	
T02	2. Точити конусну поверхню;																	
O03	3. Розточити діаметр Ø385 начорно, начисто;																	
O04	4. Підрізати торці;																	
T05	5. Зняти фаску (5x45°).																	
T06																		
P07																		
O08																		
O09																		
O10																		
OK	Обробка різанням																	

ГОСТ 3.1404-86

Форма 2

[illegible]

[illegible]

8.2 Вибір та розрахунок пристосування для певної операції

Пристрій для обробки, у якому виконується свердління шести отворів $\varnothing 8$ — пристосування притискне, на рисунку (8.3.) зображено його конструкцію. [18],

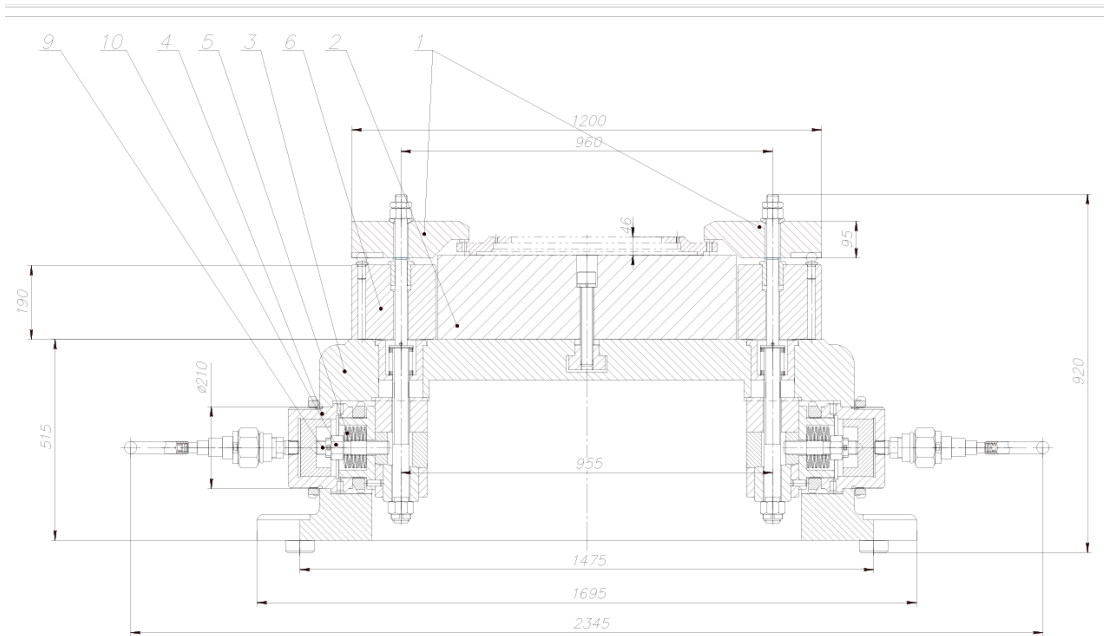


Рис 8.3. Пристосування притискне

При обробці отворів деталь притискається двома губками 1 до плити 2, забезпечуючи таким чином нерухоме положення під час виконання операції. Губки 2 рухаються і притискаються завдяки гвинтам 7, що розміщені в основі 6. Основа 6 і плита 2 розміщені на корпусі 3.

8.2.1 Розрахунок сил закріплення деталі

Під час свердління отворів деталь фіксується двома губками, які притискають її до опорної плити, забезпечуючи стійке положення. У процесі обробки на заготовку з боку інструмента діють сили різання, які можуть призвести до її зміщення з місця встановлення. Щоб запобігти цьому, заготовку необхідно надійно закріпити.

У випадку свердління отворів (рис. 8.4) у притисковому пристосуванні величина сили затискання визначається із рівності.

$$Q = \frac{M_{кр}}{f \cdot r},$$

де $M_{кр}$ – крутний момент свердла;

f – коефіцієнт тертя на робочих поверхнях.

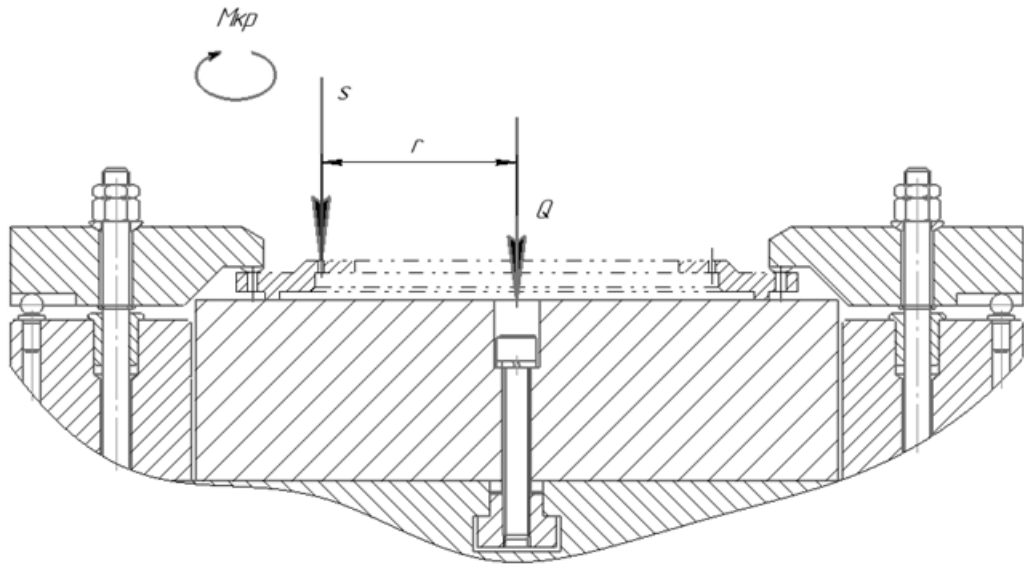


Рисунок 8.4 – Схема закріплення деталі

Для забезпечення надійності, силу затискання додатково збільшують на величину коефіцієнту запасу K , тоді формула для знаходження сили затискання набуває остаточного вигляду

$$Q = \frac{K \cdot M_{кр}}{f \cdot r}.$$

Обертаючий момент $M_{кр}$

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p$$

де коефіцієнти $C_M = 0,021$, $q=2$, $y=0,8$;

$S = 0,5$ мм/об - подача свердла;

K_p - коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки, у випадку свердління залежить лише від матеріалу оброблюваної заготовки і визначається як:

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n.$$

$$K_p = \left(\frac{550}{750} \right)^{0,75} = 0,73.$$

Остаточно

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,021 \cdot 8^2 \cdot 0,5^{0,8} \cdot 0,73 = 5,63 \text{ Нм};$$

Коефіцієнт запасу K

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5,$$

де $K_0 = 1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу для усіх пристроїв;

$K_1 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні оброблюваної заготовки;

$K_2 = 1,3$ – коефіцієнт, що враховує вплив сил різання від прогресуючого затуплення інструменту;

$K_3 = 1$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при переривчастому різанні;

$K_4 = 1$ – коефіцієнт, що враховує сталість сили затиску, яка створюється приводом пристосування;

$K_5 = 1$ коефіцієнт, що враховує наявність моментів, які намагаються повернути заготовку.

Значення коефіцієнта запасу:

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,34.$$

Сила затискання заготовки у пристосуванні

$$Q = \frac{2,34 \cdot 5,63}{0,35 \cdot 0,2325} = 161,9 \text{ Н},$$

де $r = 0,2325\text{ м}$ - відстань від точки прикладання сили затискання до місця свердління;

$f = 0,35$ - коефіцієнт тертя між поверхнями.

Приймаємо силу затиску $Q = 0,3\text{ кН}$.

ВИСНОВКИ

У розділі «Технологія машинобудування» наведено основні аспекти виготовлення деталі «Кришка підшипника», включаючи обґрунтування вибору необхідного пристосування. В рамках дослідження були виконані створення ескізів, маршрутних та операційних карт, схем і таблиць, що дозволило докладно проаналізувати усі етапи виробничого процесу.

Було розроблено структуру виготовлення деталі, кожен етап якої детально розглянуто відповідно до попередніх розділів. Проведені розрахунки підтвердили, що зусилля затиснення є достатнім для виконання технологічних операцій та забезпечення високої якості деталей.

У спеціальному розділі докладно розглянуто обране пристосування, його конструктивні особливості та принцип дії. Також виконано розрахунок ефективності його застосування для обґрунтування доцільності використання. Створено ескізу та операційну карту.

Таким чином, результати проведеного аналізу підтверджують, що розроблений технологічний процес забезпечує виготовлення деталей «Кришка підшипника» високої якості з необхідними експлуатаційними характеристиками відповідно до заданих умов.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У межах виконання бакалаврської дипломної роботи на тему «Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків» було проведено аналіз конструкції валків, які застосовуються в технологічному процесі підготовки гумових сумішей.

На основі огляду базової конструкції валка було виявлено її недоліки, зокрема надмірну масу та недостатню ефективність тепловідведення. У зв'язку з цим була запропонована модернізована конструкція валка, що передбачає змінену геометрію з внутрішніми каналами для охолодження. Таке конструктивне рішення дозволяє покращити теплову стабільність, зменшити втрати тепла через торці та оптимізувати масу виробу.

Для порівняння базової та модернізованої моделей було виконано розрахунок напружено-деформованого стану в середовищі ANSYS. У результаті моделювання визначено наступне:

Максимальна еквівалентна напруга для немодернізованої моделі становить 7,29 МПа, а максимальна деформація — 0,12 мм.

Для модернізованої конструкції напруга становить 62,7 МПа, а максимальна деформація — 0,625 мм.

Обидві моделі не перевищують допустимих напружень для матеріалу СЧ15 (допустиме значення — 80 МПа), що підтверджує їхню працездатність.

Розрахований коефіцієнт запасу міцності становить: до модернізації- 10,97 , після модернізації- 1,28.

Це означає, що модернізований валок має достатній запас міцності, працює в безпечному режимі, але при цьому є більш легким, економним та ефективним.

У результаті виконання роботи було:

Проаналізовано початкову конструкцію валка;

Розроблено її модернізований варіант;

Виконано інженерні розрахунки в середовищі ANSYS;

Підтверджено ефективність запропонованих змін.

Таким чином, проведене дослідження підтвердило доцільність та практичну ефективність модернізованої конструкції валка, яка може бути використана у виробництві для покращення якості підготовки гумової суміші.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Глебов, А. І. Технологія виготовлення гумових сумішей: навчальний посібник / А. І. Глебов, О. С. Коваленко. – Київ: Видавничий дім «Освіта», 2013. – 256 с. Доступно на сайті: <https://studfile.net/preview/2425726/page:9/>
2. Лосєв, В. В. Основи проектування валкових машин / В. В. Лосєв. – Харків: ХНУМГ, 2015. – 312 с. Доступно на сайті: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/62811/1/Valkovi.pdf>
3. Слюсар, О. П. Матеріалознавство в машинобудуванні: довідник / О. П. Слюсар. – Львів: Наукова думка, 2012. – 189 с. Доступно на сайті: https://www.academia.edu/96343554/Наукові_основи_складання_машин
4. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с.
5. Літвінов, П. М. Технологічне обладнання для переробки полімерів і гуми: навчальний посібник / П. М. Літвінов. – Дніпро: Університет друку, 2016. – 225 с. Доступно на сайті: <https://bizreview.com.ua/virobnitstvo-gumi-ta-gumotehnicnih-virobiv-obladnannya-ta-tehnologiya-z-chogo-roblyat-gumu/>
6. Даниленко О. В., Верба І. І. Деталі машин. Використання сучасних CAD/CAE систем у розрахунках деталей машин: навч. посіб. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2020. 53 с. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/a14df801-69f2-4ce9-afa6-f2e6c5f8a7d9/content>
7. Назаров О. І., Тарасов Ю. В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Сучасні методи розрахунку на міцність конструкцій із нових матеріалів». Харків : ХНАДУ, 2018. 29 с.
8. Мікульонок І. О., Сокольський О. Л. Полімерні матеріали і вироби з них (одержання, перероблення, властивості): термінологічний словник. – Київ: Політехніка, 2015. – 208 с.
9. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=EP&NR=0148966A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=19850724&DB=EPODOC&locale=en_EP

10. https://worldwide.espacenet.com/searchResults?submitted=true&locale=en_EP&DB=EPODOC&ST=advanced&TI=&AB=&PN=US2941239A&AP=&PR=&PD=&PA=&IN=&CPC=&IC=
11. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=CN&NR=103978575A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20140813&DB=EPODOC&locale=en_EP
12. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=CN&NR=205343514U&KC=U&FT=D&ND=3&date=20160629&DB=EPODOC&locale=en_EP
13. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/inpadocPatentFamily?CC=UA&NR=1446U&KC=U&FT=D&ND=3&date=20021015&DB=EPODOC&locale=en_EP
14. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/037684137/publication/US10287731B2?q=pn%3DUS10287731B2>
15. Довідник технолога-машинобудівника. У 2-х т., Т.1 / За ред. А.Г. Косілової та Р.П. Мещерякова. – 4-е вид., перероб. і допов. – М.: Машинобудування, 1986. – 656 с.
16. Довідник технолога-машинобудівника. У 2-х т., Т.2 / За ред. А.Г. Косілової та Р.П. Мещерякова. – 4-е вид., перероб. і допов. – М.: Машинобудування, 1985. – 496 с.
17. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсове проектування з технології машинобудування: Навчальний посібник для машинобудівн. спец. вузів. – 4-е вид., перероб. і допов. – Мн.: Вища школа, 1983. – 256 с.
18. Белоусов А.П. Проектування верстатних пристосувань. Вид. 2-е, перероб. і допов. Навчальний посібник для технікумів. – М.: Вища школа, 1974. – 263 с.
19. Shcherbina V. Yu., Chemerys A. O., & Mosiichuk O. A. (2024). Computer-aided design of calender roll. Modern engineering and innovative technologies. (33-01), 66–71. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2024-33-00-004>

ДОДАТОК А

Таблиця розглянутих патентів

№	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, організація, автор	Суть заявленого технологічного рішення та ціль його створення
1	Гвинтові вальці з профільованими канавками	EP0148966A1, МПК B29B 7/56, НІМЕЧЧИНА, ALBERS AUGUST DR-ING; KRUGER ERNST DIPL-ING	Корисна модель яка стосується безперервного процесу транспортування, змішування, гомогенізації та пластикації резини, пластмас і подібних матеріалів у зазорі між двома загартованими, обертовими валками, які рухаються з різними окружними швидкостями. Кожен валок оснащено косими гострокромими канавками, розташованими під кутом до осі обертання та спрямованими у протилежні боки. Це забезпечує двоосьове зсування матеріалу в зазорі та одночасне його позовжне переміщення, що дозволяє рівномірно подавати компоненти, скорочувати час перебування в зазорі та отримувати як частково пластизований, так і повністю гомогенізований продукт за потребою. Основна мета винаходу — підвищення однорідності складу та ефективності процесу, а також запобігання локальному перегріву й нерівномірному зсуву матеріалу
2	Безперервні змішувальні вальці для	US4813863 (A)	Патент описує безперервну мішалку (молтер) для

	обробки резиноподібних сумішей	МПК B29C48/03; (IPC1-7): B29B7/42 США HAHN GRANVILLE J [US]; RUTLEDGE RALEIGH N [US]; RUTLEDGE DURWARD [US] +	розминання й пластизації гуми, пластмас та інших в'язкотекучих матеріалів. Основний робочий орган — дві горизонтально розташовані, взаємозчеплені вальці, що обертаються назустріч із різними окружними швидкостями. Матеріал безперервно подається у зазор між вальцями, де завдяки різниці швидкостей і тепловій обробці відбувається інтенсивне зсування й нагрівання, що призводить до однорідного змішування й пластизації. Величина зазору регулюється для контролю ступеня обробки, а нагрівачі в корпусі забезпечують підтримку оптимальної температури процесу
3	Зчеплений перевертальний барабан-міксер гумових сумішей	CN103978575 (A) МПК B29B7/20 Китай CHEN JIANWEI	Винахід належить до технічної галузі виробництва й обробки гумових матеріалів і стосується зчепленого перевертального барабана-міксера гумових сумішей. Пристрій складається з редуктора, внутрішньої шестерні, довгої та короткої шестерень, першого й другого сферичних роликів підшипників, першого й другого роторних валів із роторами, камери змішування, опорної рами з турбінною основою, перевертного кільця, гідравлічного циліндра та приводного двигуна. Завдяки подвійній «зчепленій» валковій конструкції гарячу агломеровану гумову масу можна вчасно вулканізувати й

			інтенсивно перемішувати з одночасним охолодженням, що забезпечує високу ефективність процесу. Відпадає потреба в додатковому етапі листоутворення та зупинці виробничої лінії для охолодження — всі операції виконуються безперервно в одній машині. Це гарантує безперебійну роботу лінії, підвищує продуктивність і знижує витрати ресурсів і людської праці. Пристрій відзначається простою конструкцією, низькою собівартістю виготовлення та легкістю впровадження.
4	Барабанний гумоміксер із автоматичним очищенням валків	CN205343514 (U) МПК B29B7/56; B29B7/70 Китай DING GUIE; LYU JIANQUN; YANG MEIQIN; LI JING; WANG GUANGZHEN; ZHANG CHAOYANG; HU MING; DAI JUNCHAO; YANG MEIJIE; LI JIAO	Корисна модель відноситься до техніки змішування гумових сумішей і стосується барабанного відкритого міксера (rubber mixing mill) з автоматичним пристроєм очищення робочих валків від залишків суміші. Пристрій містить два зчіпні (“подаючі”) леза (first and second feed intake plates), змонтовані над валком, які рухаються поперечно й вертикально за допомогою привідних гідроциліндрів або моторів. Всередині лез вбудовано резистивний дріт для нагрівання та розм’якшення застряглих залишків. На нижньому краї кожного леза закріплено скребок і щітку у тертіновій посадці, причому щітка розташована поза скребком. Після проходу леза по поверхні

			валка скребок знімає основну масу, а щітка добирає дрібні фрагменти.
5	ВАЛЬЦІ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ГУМОВИХ СУМІШЕЙ	UA1446 (U) МПК В29С 48/465 Україна Мікульонок Ігор Олегович, ; ; Біденко Василь Дмитрович, ; Сезонов Максим Вікторович, ; Доценко Ігор Миколайович	Вальці для перероблення гумових сумішей, що містять передній і задній валки, кожний з яких у місці знімання перероблюваної суміші у вигляді стрічки має щонайменше одну кільцеву ділянку з утворенням між кожною парою цих ділянок обох валків профільованого зазора, а також пристрій для знімання з переднього валка перероблюваної суміші, який відрізняється тим, що на одній з кожної пари кільцевих ділянок валків виконано проточки. 2. Вальці за п. 1, які відрізняються тим, що другу з кожної пари кільцевих ділянок валків споряджено дрібними рифленнями. 3. Вальці за п. 1 або 2, які відрізняються тим, що кільцеві ділянки кожного валка виконані на закріплюваних на ньому знімних кільцевих секторах.
6	Абразивостійке поліуретанове покриття гумового вальця	US10287731B2 МПК В29С 45/02 В05D 3/12 С09D 175/00 США BUTTERFIELD WILLIAM S	Винахід стосується промислового вальця з покриттям, у якому: по металевому осердю круглої форми нанесено шар гумової підкладки, зверху якого змонтовано зовнішній гумовий

		[US]; DE DILIP [US]; SRINIVASAN BALAJI [US]; KILBOURNE GARY [US]	шар (top stock), а по ньому — поліуретанове покриття товщиною 0,05–0,25 дюйма і твердості 3–70 за шкалою P&J. Така багатошарова конструкція забезпечує поєднання еластичності та чудових динамічних властивостей гуми з високою стійкістю до абразивного зносу, покращеним зчепленням зі шаром паперу (sheet release) і підвищеною ударною міцністю в порівнянні з суто гумовими або «кістково-твердими» поліуретановими покриттями, зберігаючи при цьому м'якість поверхні й економічні переваги.
--	--	---	---

ДОДАТОК Б

Специфікації

Перв. примеч.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документация		
A1					ЛП22.037253.001-70СК	Складальне креслення		
						Деталі		
				1	ЛП22.037253.001.01	Станина	1	
				2	ЛП22.037253.001.02	Робочі валки	2	
				3	ЛП22.037253.001.03	Підшипниковий вузол	1	
				4	ЛП22.037253.001.04	Клапан	1	
				5	ЛП22.037253.001.05	Траверса	1	
				6	ЛП22.037253.001.06	Штанга аварійних вимикачів	1	
				7	ЛП22.037253.001.07	Вузол ножів	1	
				8	ЛП22.037253.001.08	Кран охолодження	1	
				9	ЛП22.037253.001.09	Трубопровід	1	
				10	ЛП22.037253.001.10	Трубопровід системи охолодження	1	
				11	ЛП22.037253.001.11	Змащування підшипників	1	
				12	ЛП22.037253.001.12	Механізм контролювання зазору	1	
				13	ЛП22.037253.001.13	Редуктор приводу вальців	1	
				14	ЛП22.037253.001.14	Електродвигун приводу вальців	1	
				15	ЛП22.037253.001.15	Фрикційна шестерня	1	
				16	ЛП22.037253.001.16	Зливний клапан	1	
				17	ЛП22.037253.001.17	Кришка корпусу	1	
				18	ЛП22.037253.001.18	Регулювальний гвинт	1	
				19	ЛП22.037253.001.19	Вузол зливу води	1	
				20	ЛП22.037253.001.20	Кінцевий вимикач	1	
				21	ЛП22.037253.001.21	Болти регулювання	1	
		ЛП22.037253.001-70СП						
		Изм.	Лист	□□ докум.	Подп.	Дата		
		Разраб.	Ворообіов К.В.					
		Пров.	Сідоров Д.Е.					
		Н.контр.						
		Утв.	Сакальський О.Л.					
		Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків					Лит.	Лист
								Листов
								1
							КПІ ім.Горького Сікорського ФАПІЕ	
		Копіював					Формат А4	

Формат Зона Лоз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		Документация		
A1	ЛП22.037253.000-70ТС	Технологічна схема		
		Деталі		
1	ЛП22.037253.000.01	Гумозмішувач	1	
2	ЛП22.037253.000.02	Вальці	2	
3	ЛП22.037253.000.03	Детектор металу	1	
4	ЛП22.037253.000.04	Каландр	1	
5	ЛП22.037253.000.05	Охолоджувальний пристрій	1	
6	ЛП22.037253.000.06	Контроль товщини листа	1	
7	ЛП22.037253.000.07	Механізм обрізання крайок	1	
8	ЛП22.037253.000.08	Закатний пристрій	1	
ЛП22.037253.000.-70ТС				
Изм. Лист	□□ докум.	Подп. Дата		
Разраб. Варадий К.В.			Лит.	Лист
Пров. Сидоров Д.Е.				Листов
Н.контр.			1	
Утв. Сокольский О.Л.			КПІ ім.Горія Сікорського ФАПІЕ	

ДОДАТОК В

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
#include <cmath>

using namespace std;

int main() {
    // Вхідні дані
    double m = 80;    // Продуктивність вальців (кг/цикл)
    double f = 1.07;  // Коефіцієнт тертя
    double v = 34.5 / 60; // Швидкість периферії заднього
    // Г о в а л к а ( м / с ), 34.5 м / х в  $\approx 0.575$  м / с
    double r = 0.33;  // Радіус валка (м)
    double g = 9.81;  // Прискорення вільного падіння (м/с2)

    // 2. Розрахунок сили тертя
    double F = f * m * g;

    // 3. Крутний момент
    double M = F * r;

    // 4. Кутова швидкість
    double omega = v / r;

    // 5. Механічна потужність
    double Pmech = M * omega;
```

```
// 6. Урахування ККД приводу
```

```
double eta = 0.95 * 0.97 * 0.94; // Загальний ККД
```

```
double Pel = Pmech / eta;
```

```
// 7. Запас потужності
```

```
double Pnom = Pel * 10; // Рекомендований запас 5-10×
```

```
// 8. Обрана потужність двигуна
```

```
double Pmotor = 7.5; // Обрана потужність двигуна (кВт)
```

```
// Виведення результатів
```

```
cout << fixed << setprecision(2); // Встановлюємо точність до двох знаків після
```

коми

```
cout << "\n===== Розрахунки  
===== \n";
```

```
// Розрахунок сили тертя
```

```
cout << "1. Розрахунок сили тертя:\n";
```

```
cout << " Формула:  $F = f * m * g$ \n";
```

```
cout << " F = " << f << " * " << m << " * " << g << " = " << F << " Н\n";
```

```
cout << "\n";
```

```
// Розрахунок крутного моменту
```

```
cout << "2. Розрахунок крутного моменту:\n";
```

```
cout << " Формула:  $M = F * r$ \n";
```

```
cout << " M = " << F << " * " << r << " = " << M << " Н·м\n";
```

```
cout << "\n";
```

```

// Розрахунок кутової швидкості
cout << "3. Розрахунок кутової швидкості:\n";
cout << " Формула:  $\omega = v / r$ \n";
cout << "  $\omega =$  " << v << " / " << r << " = " << omega << " рад/с\n";
cout << "\n";

// Механічна потужність
cout << "4. Механічна потужність:\n";
cout << " Формула:  $P_{\text{мех}} = M * \omega$ \n";
cout << "  $P_{\text{мех}} =$  " << M << " * " << omega << " = " << P_mech << " Вт (" <<
P_mech / 1000 << " кВт)\n";
cout << "\n";

// Потужність з урахуванням ККД
cout << "5. Потужність з урахуванням ККД приводу:\n";
cout << " Формула:  $P_{\text{ел}} = P_{\text{мех}} / \eta$ \n";
cout << "  $\eta = 0.95 * 0.97 * 0.94 =$  " << eta << "\n";
cout << "  $P_{\text{ел}} =$  " << P_mech << " / " << eta << " = " << P_el << " Вт (" << P_el /
1000 << " кВт)\n";
cout << "\n";

// Рекомендований запас потужності
cout << "6. Рекомендований запас потужності:\n";
cout << " Формула:  $P_{\text{ном}} = P_{\text{ел}} * 10$ \n";
cout << "  $P_{\text{ном}} =$  " << P_el << " * 10 = " << P_nom << " Вт (" << P_nom / 1000 <<
" кВт)\n";
cout << "\n";

// Обрана потужність двигуна

```

```
cout << "7. Обрана потужність двигуна:\n";
```

```
cout << "  Обрана потужність двигуна Pmotor = " << Pmotor << " кВт\n";
```

```
cout << "\n";
```

```
cout
```

```
<<
```

```
"=====
=====\\n";
```

```
return 0;
```

```
}
```

Output:

```
===== Розрахунки =====
1. Розрахунок сили тертя:
   Формула:  $F = f * m * g$ 
    $F = 1.07 * 80.00 * 9.81 = 839.74 \text{ Н}$ 

2. Розрахунок крутного моменту:
   Формула:  $M = F * r$ 
    $M = 839.74 * 0.33 = 277.11 \text{ Н}\cdot\text{м}$ 

3. Розрахунок кутової швидкості:
   Формула:  $\omega = v / r$ 
    $\omega = 0.57 / 0.33 = 1.74 \text{ рад/с}$ 

4. Механічна потужність:
   Формула:  $P_{\text{мех}} = M * \omega$ 
    $P_{\text{мех}} = 277.11 * 1.74 = 482.85 \text{ Вт (0.48 кВт)}$ 

5. Потужність з урахуванням ККД приводу:
   Формула:  $P_{\text{ел}} = P_{\text{мех}} / \eta$ 
    $\eta = 0.95 * 0.97 * 0.94 = 0.87$ 
    $P_{\text{ел}} = 482.85 / 0.87 = 557.43 \text{ Вт (0.56 кВт)}$ 

6. Рекомендований запас потужності:
   Формула:  $P_{\text{ном}} = P_{\text{ел}} * 10$ 
    $P_{\text{ном}} = 557.43 * 10 = 5574.26 \text{ Вт (5.57 кВт)}$ 

7. Обрана потужність двигуна:
   Обрана потужність двигуна Pmotor = 7.50 кВт
=====
```

ДОДАТОК Г

XXIII Всеукраїнська конференція «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки»

Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків

Воробйов К.В., студ., Сідоров Д.Е., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропонована розробка модернізованих валків для переробки гумової суміші. Модернізація направлена на поліпшення перемішування, рівномірність розподілу температури та якість суміші.

Ключові слова: вальці, гумова суміш, модернізація валків.

Вступ. На сьогоднішній день підвищення ефективності роботи підготовчих цехів гумової промисловості безпосередньо пов'язане з модернізацією основного технологічного обладнання. Ключовим етапом у виробництві еластомерних композицій є якісне змішування компонентів, яке традиційно реалізується на вальцях. Проте стандартні конструкції робочих органів не завжди забезпечують необхідний рівень гомогенізації матеріалу та мають високу енергоємність [1].

У зв'язку з цим, аналіз та розрахунок нових конструктивних рішень для валків змішувальних машин є актуальним науково-технічним завданням, що дозволить оптимізувати параметри переробки гумових сумішей та покращити якість готової продукції [2].

Одним із напрямів підвищення технологічної та експлуатаційної ефективності є використання хвилястого (синусоїдального) профілю у складі робочої поверхні валків [3].

Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на вузли тертя, зменшити втрати на подолання опору руху матеріалу, усунути прослизання гумової маси та підвищити якість змішування і дегазації.

Основна частина. Конструкція модернізованих вальців (рис. 1) базується на використанні робочих валків із профільованою (хвилястою) поверхнею, що забезпечує інтенсивне перемішування та гомогенізацію гумової суміші. Завдяки хвилястій формі валків створюються змінні контактні зони з матеріалом, які постійно переміщуються, що зменшує локальне перегрівання суміші, підвищує якість змішування і знижує зношення робочих поверхонь.

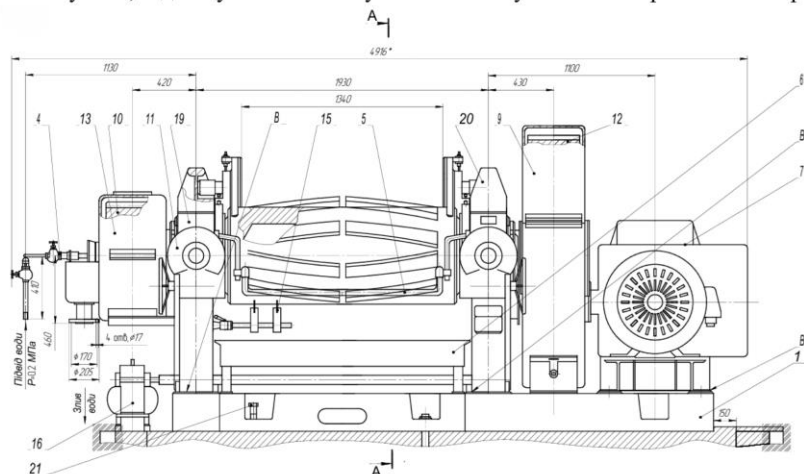


Рисунок 1 – Загальний вигляд модернізованих вальців: 1 – станина; 4 – клапан; 5 – траверса; 6 – штанга аварійних вимикачів; 7 – вузол ножів; 9 – трубопровід; 11 – змащування підшипників; 12 – механізм контролювання зазору; 13 – редуктор приводу вальців; 15 – фрикційна шестерня; 16 – зливний клапан; 19 – вузол зливу води; 20 – кінцевий вимикач; 21 – болти регулювання

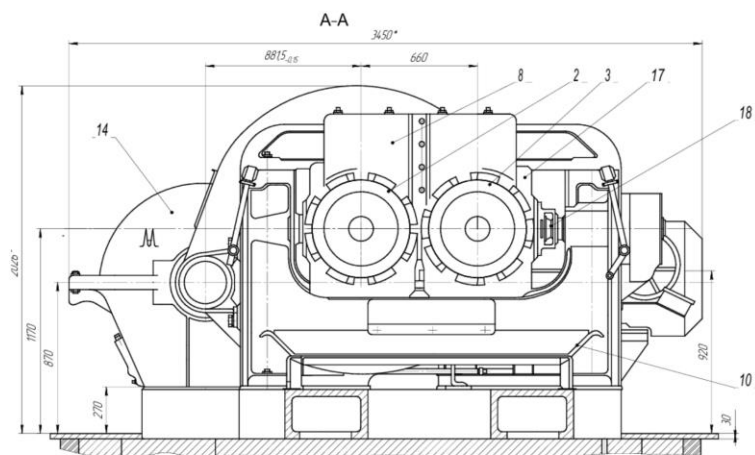


Рисунок 2 – Профільний розріз модернізованих вальців: 2 – робочі валки; 3 – підшипниковий вузол; 8 – кран охолодження; 10 – трубопровід системи охолодження; 14 – електродвигун приводу вальців; 17 – кришка корпусу; 18 – регулювальний гвинт

Завдяки модернізації робочої поверхні досягається максимальний захоплювальний та зсувний ефект. Маса матеріалу переміщується абсолютно рівномірно без необхідності тривалого очікування між етапами виробництва, що виключає потребу в додатковому рафінуванні суміші та суттєво підвищує загальну продуктивність лінії вальцювання [3].

Висновки. Запропонована модернізація робочих поверхонь вальців за принципами патенту CN103978575A є науково обґрунтованим та практично доцільним технічним рішенням, яке спрямоване на підвищення загальної продуктивності обладнання, оптимізацію енергетичних параметрів процесу та покращення якісних показників цільової гумової суміші. Важливою технологічною перевагою модернізації є можливість здійснення процесу без проміжного етапу листоутворення та вимушених зупинок лінії, що гарантує досягнення високої однорідності розподілу інгредієнтів суміші та безперервність виробничого циклу.

Перелік посилань

1. Сівецький В. І. Обладнання заводів гумової промисловості: Навчальний посібник / В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 212 с.
2. Григор'єв А. В. Елементи машинобудування та розрахунок деталей хімічного обладнання: Метод. вказівки / А. В. Григор'єв, В. О. Петренко. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2014. – 96 с.
3. Interlocking overturn-roller rubber mixing roll: пат. CN103978575A KHP: МПК B29B 7/20 / Nanjing Kaichi Machinery Co Ltd. – № CN201410184389A; заявл. 05.05.2014; опубл. 13.08.2014.