

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

**Факультет транспорту та механічної інженерії**

(повне найменування факультету)

**Кафедра прикладної механіки та мехатроніки**

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»  
УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ  
ЛАМІНОВАНИХ ПЛИТ ЗА РАХУНОК  
ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи ІМм-21  
Тетерук Микола Романович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник:  
д.т.н., професор  
Повстяной Олександр Юрійович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.  
Гарант освітньої програми:  
к.т.н., доцент  
Четвержук Тарас Іванович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2025 року

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *транспорту та механічної інженерії*

Кафедра *прикладної механіки та мехатроніки*

Ступінь вищої освіти: *магістр*

Галузь знань: *13 Механічна інженерія*

Спеціальність: *131 Прикладна механіка*

Освітня програма: *«Прикладна механіка»*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Р. Г. Редько

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ДРУГОГО (МАГІСТЕРСЬКОГО) РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Тетерука Миколи Романовича*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: *Удосконалення обладнання технологічної лінії для виготовлення ламінованих плит за рахунок впровадження нових конструкцій*

Керівник роботи: *д.т.н., професор Повстяной Олександр Юрійович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» червня 2025 року №391/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: «1» грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: *технологічний процес виготовлення ламінованих плит, конструкція*

*гідроциліндрів,*

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

*1. Загальна частина.*

*2. Технологічна частина.*

*3. Спеціальна частина.*

*4. Конструкторська частина*

5. Перелік графічного матеріалу :

*графічний матеріал виконано у вигляді презентації, яка складається з 10 слайдів*

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Повстяной О.Ю.</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Повстяной О.Ю.</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Повстяной О.Ю.</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Повстяной О.Ю.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>			
<i>Показник запозичень тексту</i>			
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Полінкевич Р.М.</i>		

7. Дата видачі завдання 14.06.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

N з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз проблеми за темою роботи та постановка задач</i>	<i>01.09.2025 р.</i>	<i>виконав</i>
2	<i>Аналіз і вибір напрямків дослідження</i>	<i>10.09.2025 р.</i>	<i>виконав</i>
3	<i>Теоретичне дослідження та практична реалізація</i>	<i>20.09.2025 р.</i>	<i>виконав</i>
4	<i>Опис засобів розробки об'єкта проектування</i>	<i>01.10.2025 р.</i>	<i>виконав</i>
5	<i>Загальні висновки та рекомендації</i>	<i>20.10.2025 р.</i>	<i>виконав</i>
6	<i>Оформлення роботи</i>	<i>10.11.2025 р.</i>	<i>виконав</i>
7	<i>Оформлення презентації</i>	<i>20.11.2025 р.</i>	<i>виконав</i>
8	<i>Здача чистового варіанту кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	<i>01.12.2025 р.</i>	<i>виконав</i>

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

*Тетерук М. Р.*  
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

*Повстяной О. Ю.*  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Тетерук М. Р. Удосконалення обладнання технологічної лінії для виготовлення ламінованих плит за рахунок впровадження нових конструкцій. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці нових конструкцій гідроциліндрів преса ламінування деревостружкової плити. Обґрунтовані технічні рішення щодо виготовлення деталі з найбільш доцільним і ефективним використанням технологічного устаткування. Також були розглянуті питання розробки маршруту механічної обробки деталі з використанням універсального обладнання і пристосувань, які значно розширюють його технологічні можливості і підвищують продуктивність. Описано технологію складання та розбирання вузла, розраховано відповідні затрати часу на слюсарні та верстатні роботи. Спеціальна частина кваліфікаційної роботи містить розрахунки та обкутування нових конструкцій гідроциліндрів технологічної лінії для виготовлення ламінованих плит у SolidWorks Simulation.

Ключові слова: робот, автоматизована система керування, механізм, гідроциліндр, устаткування.

## ABSTRACT

Teteruk M. Improvement of the equipment of the technological line for the production of laminated boards by introducing new designs. Manuscript.

Master's qualification work OP «Applied Mechanics» specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Master's qualification work consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, list of sources used.

The qualification work is devoted to the development of new designs of hydraulic cylinders for a chipboard lamination press. substantiated technical solutions for manufacturing a part with the most appropriate and effective use of technological equipment. Also considered were the issues of developing a route for mechanical processing of a part using universal equipment and devices that significantly expand its technological capabilities and increase productivity. The technology of assembly and disassembly of the unit is described, the corresponding time costs for metalworking and machine work are calculated. A special part of the qualification work contains calculations and wrapping of new designs of hydraulic cylinders of the technological line for the production of laminated boards in SolidWorks Simulation.

Keywords: robot, automated control system, mechanism, robot arm.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Огляд методів виробництва ламінованих деревостружкових плит.....	8
1.2 Опис функціональної схеми лінії ламінування.....	19
1.3 Гідравлічна схема лінії ламінування.....	19
1.4 Поставка завдань на кваліфікаційну роботу.....	22
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	25
2.1 Характеристика і конструктивний аналіз деталі.....	25
2.2 Обґрунтування технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус».....	26
2.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі.....	32
2.4 Визначення режимів різання для верстатних операцій.....	42
2.5 Розробка технологічного процесу розбирання та складання силових гідроциліндрів.....	50
2.6 Складання виробу (вузла) та нормування складальних операцій.....	53
РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	55
3.1 Основи конструкції силових гідроциліндрів опускання.....	55
3.2 Розрахунок деформації корпусу гільзи в наслідок теплової дії на нього та розрахунок посадки під ущільнення.....	56
3.3 Основи конструкції гідроциліндрів піднімання траверси преса ламінування ДСП.....	64
РОЗДІЛ 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	68
4.1 Опис конструкції пристосування.....	68
4.2 Розрахунок різця на міцність і жорсткість.....	70
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТКИ.....	80

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** У даний час ламіновані деревостружкові плити (ДСП) – це найпопулярніший матеріал в меблевій промисловості. Головні переваги ламінованої ДСП – низька вартість і простота обробки. ДСП виготовляють з пресованої деревної стружки зі додаванням в якості сполучного речовини термореактивної синтетичної смоли.

Сучасний етап розвитку будівельної та меблевої промисловості характеризується зростанням вимог до якості, екологічної безпеки, ресурсо- та енергоефективності конструкційних матеріалів. У цьому контексті деревостружкові плити посідають провідне місце як універсальний матеріал, що широко застосовується у виробництві корпусних меблів, елементів інтер'єру, перегородок і облицювальних конструкцій. Їх популярність зумовлена поєднанням задовільних фізико-механічних властивостей, декоративної привабливості, технологічності оброблення та відносно низької собівартості.

Разом із тим традиційні технології виготовлення ДСП мають низку суттєвих обмежень, пов'язаних із нестабільністю структури плит, анізотропією властивостей, підвищеною чутливістю до вологи, а також екологічними ризиками, що виникають унаслідок використання синтетичних смол із вмістом формальдегіду.

Актуальність дослідження також визначається потребою раціонального використання деревинної сировини, включно з вторинними ресурсами та відходами деревообробної промисловості. Зростання дефіциту якісної деревини та підвищення її вартості стимулюють розвиток науково обґрунтованих підходів до керування структуроутворенням деревостружкових плит, прогнозування їх експлуатаційних властивостей та підвищення довговічності готових виробів. Особливої уваги потребує дослідження взаємозв'язку між мікроструктурою ДСП, параметрами ламінування та кінцевими функціональними характеристиками ДСП.

Таким чином, дослідження процесів виготовлення ламінованих деревостружкових плит є актуальним і своєчасним, оскільки спрямоване на вирішення комплексу технологічних, екологічних та економічних завдань.

**Метою кваліфікаційної роботи** є вивчення процесу роботи автоматичної лінії ламінування деревостружкової плити, визначення основних недоліків в її роботі та методи їх усунення.

Кваліфікаційна робота передбачає модернізацію гідроциліндрів преса ламінування, з детальною розробкою технології виготовлення корпусу гідроциліндра та розробку нових пристроїв на придатність для використання в технології виготовлення деталей відповідної складності та якості.

**Об'єкт дослідження** – технології виготовлення корпусу гідроциліндра автоматичної лінії ламінування деревостружкової плити.

**Предмет дослідження** – силові гідроциліндри лінії ламінування деревостружкової плити.

Для досягнення поставленої мети у роботі передбачено розв'язання таких **завдань**:

- здійснити аналіз технологічних основ процесу виробництва ламінованої деревостружкової плити;

- обґрунтувати технічні рішення щодо виготовлення деталі з найбільш доцільним і ефективним використанням технологічного устаткування лінії ламінування;

- провести відповідні розрахунки та обґрунтувати розробку нових конструкцій гідроциліндрів з описом розробки конструкції в SolidWorks Simulation;

- розробити рекомендації щодо досягнення максимального розширення універсальності модернізації вузла лінії ламінування та виготовлення деталі.

**Особистий внесок магістранта.** Основні результати, висновки та виклад матеріалу у презентаційній формі, рекомендації щодо подальшого впровадження отримані автором самостійно з відповідним консультуванням простого наукового керівника.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 1.1 Огляд методів виробництва ламінованих деревостружкових плит

У теперішній час ламіновані деревостружкові плити є одним із найбільш поширених матеріалів у меблевій промисловості. Їх широке застосування зумовлене насамперед відносно низькою собівартістю та технологічною простотою механічної обробки. Ламіновані ДСП виготовляють шляхом пресування деревної стружки з використанням термореактивних синтетичних смол як сполучної речовини.

Сировинною базою для виробництва деревостружкових плит можуть слугувати різні види маловартісної деревини як хвойних, так і листяних порід. При цьому частка використання круглої деревини істотно зменшується за рахунок залучення відходів деревообробної промисловості, зокрема тріски, тирси та вторинної деревини. У виробничому процесі ДСП часто застосовується суміш різних видів сировини, що сприяє підвищенню раціональності використання лісових ресурсів. Введення до складу плит гідрофобізуючих, антисептичних та інших функціональних добавок забезпечує необхідні показники міцності, вологостійкості та довговічності готового матеріалу.

Технологічний процес виготовлення деревостружкових плит розпочинається з підготовки сировини, яка передбачає її подрібнення за допомогою промислових дробарок або подрібнювачів. Отримана стружка підлягає фракційному сортуванню, що здійснюється із застосуванням вібраційних сит різних типів. Після сортування сира стружка накопичується в бункерах, куди вона транспортується за допомогою систем пневмотранспорту або механічних конвеєрів. Із бункерів стружка подається до сушильних установок для зниження вологості до нормативних значень. Загальна схема процесу переробки деревної сировини наведена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Процес подрібнення деревини

Після операцій подрібнення та фракційного сортування деревної сировини здійснюється технологічний етап сушіння стружки. Для реалізації даного процесу застосовують спеціалізовані сушильні комплекси, призначені для зниження вологості матеріалу до нормативних значень. Зокрема, для стружки зовнішніх шарів деревостружкових плит вологість повинна становити 4-6 %, тоді як для внутрішнього шару – 2-4 %. У зв'язку з цим стружку різних фракцій та призначення сушать у окремих сушильних установках.

У промисловому виробництві ДСП переважно використовують конвективні сушарки барабанного типу. Джерелом теплової енергії в таких установках є спалювання газу або мазуту в топці сушарки, де температура продуктів згоряння досягає 900-1000 °С. На вході до сушильного барабана температура теплоносія становить близько 450-550 °С, тоді як на виході вона знижується до 90-120 °С. Сушильний барабан монтується з невеликим нахилом (2-3°) у напрямку подачі сирової стружки, що забезпечує її поступальний рух і рівномірну обробку тепловим потоком.

Загальний вигляд машини для сушіння подрібненої деревини наведено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Машина для сушіння деревини

Після завершення процесу сушіння деревна стружка піддається змішуванню зі смолистою сполучною речовиною. Отримання осмоленої стружки здійснюється у змішувачах безперервної дії, що забезпечують стабільність технологічного режиму та рівномірність обробки матеріалу. У процесі переміщення стружки шнековим валом вона надходить у наступну зону змішувача, де додатково переміщується за допомогою лопатевих елементів.

Даний етап є одним із найбільш складних і відповідальних у технології виробництва деревостружкових плит, оскільки потребує забезпечення рівномірного покриття смолою всієї маси стружки. Недостатнє осмолення призводить до відсутності адгезії між частинками та, як наслідок, до зниження міцності плит, тоді як надлишок смоли спричиняє її перевитрату і погіршення фізико-механічних показників готової продукції. Компоненти сполучної системи подаються до змішувача у вигляді розчинів, при цьому концентрація смол у потоці для зовнішніх шарів становить 53–55 %, а для внутрішнього шару є дещо вищою і досягає 60–61 %.

Після повної підготовки суміші осмолена стружка подається на конвеєр, призначений для формування багат шарового килима, який є заготовкою для подальшого виготовлення деревостружкових плит. Формування килима

здійснюється за допомогою спеціалізованих формувальних машин, що рівномірно укладають осмолену стружку у форму. Загальний вигляд процесу формування шару наведено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Формувальна машина

Формування стружкового килима може здійснюватися за одношаровою, двошаровою або тришаровою схемою. Тришарове формування характерне переважно для підприємств, оснащених застарілим технологічним обладнанням. У разі застосування такої технології внутрішній шар плити формується з крупнофракційної стружки, тоді як зовнішні шари — з дрібнодисперсної. На поперечному перерізі тришарових деревостружкових плит чітко простежуються зовнішні шари, що відрізняються від внутрішнього за структурою.

У сучасних технологічних лініях, як правило, реалізується одношарова схема укладання, за якої розмір стружкових частинок змінюється поступово: від найбільших у центральній частині килима до найдрібніших у приповерхневих зонах. За такої структури на поперечному перерізі плити практично неможливо чітко виокремити зовнішні та внутрішні шари. Плавність переходу між фракціями забезпечується спеціальними пристроями, що здійснюють розподіл стружки за розміром із використанням повітряного потоку. Формування стружкового килима в таких машинах відбувається за один технологічний прохід.

Стружковий килим являє собою безперервну стрічку заданої ширини та товщини, яка надалі розрізається на окремі пакети. Саме з цих пакетів у процесі гарячого пресування формуються деревостружкові плити. При цьому рівномірність насипання та розподілу матеріалу в килимі безпосередньо визначає якість, однорідність і стабільність фізико-механічних властивостей готових плит.

Процес пресування та склеювання деревостружкових плит здійснюється у термопресах за температури близько 180 °С та питомого тиску 2,5–3,5 МПа. Тривалість пресування, як правило, становить 0,3–0,35 хв на кожен міліметр товщини плити. Залежно від напрямку прикладання зусилля розрізняють плоске та екструзійне пресування.

За плоского пресування зусилля преса спрямоване перпендикулярно до площини плити, внаслідок чого стружкові частинки орієнтуються переважно паралельно її пласті. Така орієнтація сприяє деякому підвищенню механічної міцності деревостружкових плит, хоча в науково-технічній літературі зустрічаються й альтернативні точки зору. При екструзійному пресуванні тиск прикладається до кромки плити, а стружка орієнтується перпендикулярно до площини пласті, що зумовлює зниження міцності плити на вигин. Більшість вертикальних пресів екструзійного типу належить до застарілого обладнання, проте існують і сучасні вертикальні пресові установки, призначені для виготовлення екструзійних деревостружкових плит з внутрішніми каналами.

Такі плити, як правило, піддаються ламінуванню та використовуються у виробництві меблів і окремих столярних виробів, зокрема міжкімнатних дверей.

У виробництві ДСП застосовують як одноповерхові, так і багатоповерхові лінії пресування. Одноповерхові лінії малої та середньої потужності оснащуються системами електронного контролю товщини плит і вбудованими засобами загального технологічного контролю. Багатоповерхові лінії, призначені для середньої та великої продуктивності, можуть мати механічний або електронний контроль товщини, а також інтегровані системи моніторингу параметрів процесу. Сучасні багатоповерхові преси характеризуються значними габаритами: розміри нагрівальних плит можуть досягати  $6 \times 3$  м, кількість робочих проміжків — до 22, що дозволяє здійснювати одночасне пресування відповідної кількості деревостружкових плит. Загальна висота таких пресів сягає 8 м. Загальний вигляд багатоповерхового преса наведено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Прес ДСП

Охолодження та обрізання деревостружкових плит є завершальними операціями етапу формування плит після процесу гарячого пресування. Спресовані листи ДСП піддаються обрізанню до заданого торговельного формату. Операція різання може здійснюватися як у гарячому стані — безпосередньо після вивантаження з термопреса, так і після попереднього охолодження плит. Відповідно розрізняють гарячу та холодну обрізку. У сучасних виробничих лініях переважно застосовується холодна обрізка, що забезпечує стабільні геометричні параметри та зменшує ймовірність деформацій готових виробів.

Необхідність охолодження деревостружкових плит зумовлена тим, що після виходу з термопреса вони, по-перше, характеризуються дуже високою температурою, а по-друге – значною нерівномірністю температурно-вологісного стану по товщині. Зокрема, вологість зовнішніх шарів плит становить приблизно 2-4 %, тоді як у внутрішніх шарах у цей момент вона може досягати 10-13 %. Різниця температур між поверхневими та внутрішніми зонами плити сягає близько 80 °C (приблизно 105 °C на поверхні та до 180 °C у середині). Наявність таких температурно-вологісних градієнтів є джерелом значних внутрішніх напружень, які під час подальшої механічної обробки гарячих плит можуть призводити до їх деформації або зниження якості. Саме тому перед обрізанням плитам надають можливість охолонути в спеціальних охолоджувальних установках.

Для охолодження деревостружкових плит використовують, як правило, віялові охолоджувачі (рис. 1.5), що являють собою установки з великим обертовим барабаном, поділеним на кілька десятків осередків. Під час завантаження чергової гарячої плити барабан повертається на одну позицію, а з протилежного боку охолоджувача вивантажується плита, температура якої вже знизилася приблизно до 50 °C. Продуктивність таких охолоджувальних установок становить близько 200 листів за годину, при цьому для охолодження однієї плити товщиною 19 мм до температури 50 °C необхідно орієнтовно 12–15 хвилин.

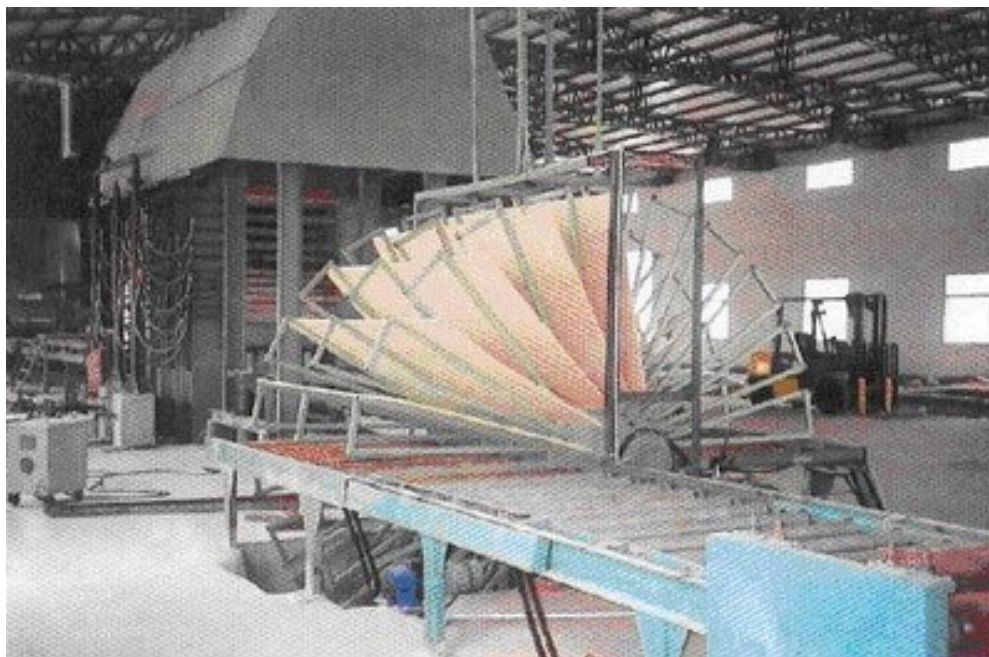


Рисунок 1.5 – Віяловий охолоджувач

Фінішною обробкою ДСП є шліфування поверхні та торців Шліфувальні машини на виробництві деревостружкових плит бувають: чотирьохголовочні, шестиголовочці і восьмиголовочні. Переваги більшої кількості головок це – якість шліфування. Чим більше головок тим краще якість шліфування, а й більше споживання електрики, шліфувальної стрічки.

Головки діляться на калібрувальні, проміжного шліфування і шліфувальні, в такому ж порядку вони встановлені на шліфувальній машині. Відмінність калібрувальних від шліфувальних і комбінованих – це відсутність притискного утюжка .

Восьмиголовочна шліфувальна машина, калібрувальні головки розміщуються одна над іншою і формують остаточну товщину листа ДСП представлено на схемі рисунку 1.6.

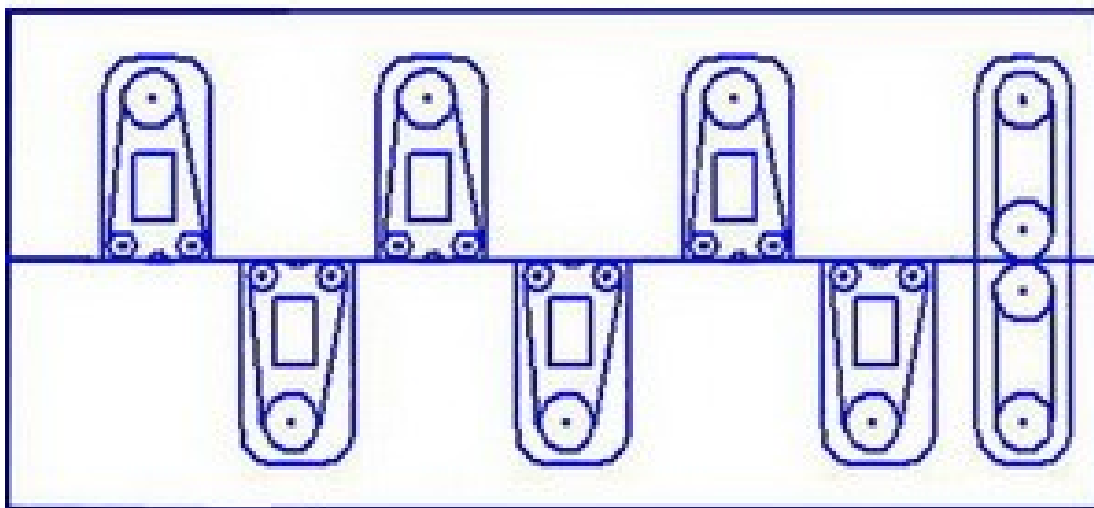


Рисунок 1.6 – Схема шліфування деревостружкової плити

Завершальним етапом технологічного процесу виготовлення ламінованих деревостружкових плит є нанесення на їх поверхню ламінуючого покриття. Ламінування ДСП здійснюється шляхом облицювання листів матеріалу тонкою паперово-смоляною плівкою. Для виготовлення такої плівки використовується спеціальний папір із заданим декоративним орнаментом і фактурою. Просочення паперової основи меламіновою смолою надає плівці підвищеної жорсткості та зносостійкості, однак одночасно зумовлює зростання її крихкості.

У процесі виготовлення ламінованих деревостружкових плит спресована поверхня основного матеріалу з'єднується з декоративною плівкою одним із двох основних способів — кашируванням або ламінуванням. Каширування передбачає скріплення ДСП з паперово-смоляною плівкою за допомогою спеціальних клейових композицій. У разі ламінування декоративне плівкове покриття наноситься під дією підвищеного тиску та високої температури, що забезпечує більш міцне з'єднання плівки з основою. Незважаючи на вищі матеріальні та енергетичні витрати порівняно з кашируванням, процес ламінування дозволяє отримати покриття з кращими експлуатаційними характеристиками. Незалежно від обраного методу нанесення плівки, кінцевим продуктом є ламінована деревостружкова плита.

Ламіноване ДСП широко застосовується у меблевому виробництві та має низку суттєвих переваг порівняно зі звичайними деревостружковими плитами.

Декоративно-захисна плівка підвищує міцнісні характеристики матеріалу, забезпечує захист від механічних пошкоджень і зношування, а також розширює дизайнерські можливості завдяки різноманіттю кольорів і текстур. Ламіновані плити здатні з високим ступенем достовірності імітувати структуру натуральної деревини. Підвищена термостійкість матеріалу дозволяє використовувати його в умовах побутової експлуатації, зокрема в кухонних приміщеннях, без застосування додаткових захисних підставок під гарячі предмети. Водночас до недоліків ламінованого ДСП належать використання формальдегідвмісних смол у процесі виробництва, а також обмежені можливості виконання тонкої та фігурної механічної обробки.

## 1.2 Опис функціональної схеми лінії ламінування

Дана лінія використовується для покриття деревостружкової плити ламінувальною плівкою. На рисунку 1.7 зображено загальний вигляд лінії ламінування деревостружкової плити.



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд лінії ламінування

Лінія ламінування деревостружкових плит являє собою складний багатокомпонентний технологічний комплекс, що включає сукупність основних і допоміжних систем, призначених для транспортування та позиціонування плит, підтримання заданих температурних режимів, здійснення пресування, а також сортування та відведення готової продукції. Узгоджена робота зазначених систем забезпечує безперервність виробничого процесу та стабільну якість ламінованих плит.

Структурно лінія ламінування складається з таких основних технологічних ділянок:

1. Подача плит – ділянка забезпечує безперервну автоматизовану подачу плит зі стопки у зону формування пакета.

2. Подача та зберігання паперу – призначена для транспортування паперово-смоляної плівки до зони формування пакета, а також для завантаження і вивантаження палет із папером.

3. Формування пакета – на цій ділянці здійснюється укладання пакета типу «папір – плита – папір» із забезпеченням необхідної точності позиціонування декоративного покриття відносно поверхонь плити.

4. Пресування – передбачає пресування сформованих пакетів відповідно до заданої технологічної програми, що регламентує тривалість процесу, температуру та величину прикладеного тиску.

Кромкоочистка, транспортування підкладок та сортування готової продукції — забезпечує завершальну обробку ламінованих плит, їх транспортування та класифікацію за встановленими параметрами якості.

Для кожної ділянки лінії передбачені окремі режими роботи, що дозволяє гнучко налаштовувати технологічний процес залежно від типу продукції та умов виробництва. До складу лінії входять два операторські пульти управління: один призначений для контролю та керування процесами формування пакетів і їх пресування, інший – для управління подачею плит, а також сортуванням готової продукції.

Функціонування лінії ламінування забезпечується застосуванням різнотипного гідравлічного та пневматичного обладнання, а також інтегрованих

конвеєрних систем, що поєднують окремі технологічні ділянки в єдиний автоматизований комплекс.

Процес пресування є ключовим етапом формування ламінованої деревостружкової плити, під час якого відбувається міцне з'єднання декоративної плівки із зовнішніми шарами основного матеріалу. Склеювання здійснюється одночасно по всій поверхні плити завдяки значній площі траверси преса, що забезпечує рівномірний розподіл тиску. Опускання траверси реалізується за допомогою шести силових гідроциліндрів, тоді як піднімання здійснюється додатковими гідроциліндрами, інтегрованими в конструкцію пресової установки.

### **1.3 Гідравлічна схема лінії ламінування**

На гідравлічній схемі лінії ламінування відображено систему керування роботою гідравлічного обладнання пресової установки, призначеної для виготовлення ламінованих деревостружкових плит. Для забезпечення стабільного функціонування гідросистеми лінії використовується комплекс гідравлічних та допоміжних елементів, до складу якого входять гідроциліндри, гідробаки, гідравлічні розподільники, дроселі, вентилі, запобіжні та редукційні клапани, гідравлічні акумулятори, масляні фільтри, реле тиску, насоси, електродвигуни, а також ручні, механічні та електромагнітні органи керування і прилади для контролю тиску в системі.

Гідравлічні розподільники являють собою гідроапарати, призначені для зміни напрямку потоку робочої рідини в двох або більше гідролініях залежно від зовнішнього керуючого впливу. Гідродроселі використовуються для регулювання витрати та тиску робочої рідини шляхом створення гідравлічного опору в трубопроводах. Запобіжні клапани виконують функцію захисту гідросистеми і трубопроводів від механічного руйнування внаслідок перевищення допустимого тиску, забезпечуючи автоматичний скид надлишкової рідини або газу. Масляні фільтри призначені для очищення робочої рідини від механічних домішок, що підвищує надійність і довговічність елементів

гідроприводу. Реле тиску використовуються для подачі керуючого або сигнального імпульсу у разі досягнення тиском заданого значення.

Насос є основним елементом гідроприводу, що забезпечує створення потоку робочої рідини та перетворює механічну енергію приводу в енергію тиску і кінетичну енергію рідини. Робота насоса характеризується подачею, напором, потужністю, коефіцієнтом корисної дії та частотою обертання. Гідравлічний бак належить до допоміжного гідрообладнання і призначений для зберігання робочої рідини та живлення нею гідроприводу.

Регулювання витрати робочого середовища в гідросистемі здійснюється за допомогою дроселів, у яких гідравлічний опір створюється шляхом зміни площі прохідного перерізу потоку. Зміна величини цього опору дозволяє формувати необхідний перепад тиску на окремих елементах системи та регулювати швидкість руху робочих органів. Регульовані дроселі дають змогу змінювати прохідний переріз у процесі роботи шляхом впливу на запірно-регулюючий елемент. Поширеним елементом гідравлічних схем є дросель із зворотним клапаном, який забезпечує обмеження та регулювання подачі робочої рідини в одному напрямку і її вільне протікання в протилежному.

На гідравлічній схемі лінії відображено елементи, що забезпечують роботу силових і підйомних гідроциліндрів преса для ламінування деревостружкових плит. Для здійснення процесу пресування на установці змонтовані силові гідроциліндри, призначені для опускання траверси преса. Після завершення їх роботи, з часовою витримкою в декілька секунд, у дію вступають гідроциліндри піднімання траверси. Гідравлічна система опускання і піднімання преса є замкнутою та оснащена трьома джерелами живлення: регульованими насосами Н1 і Н2 з вихідним тиском відповідно 40 та 20 МПа, а також гідравлічним акумулятором А1, який використовується для накопичення енергії та вирівнювання пульсацій тиску в системі.

Процес пресування розпочинається з увімкнення електродвигуна, що приводить у дію насос Н2 для створення робочого тиску. Робоча рідина проходить через масляний фільтр Ф2 і надходить до чотирилінійного трьохпозиційного золотникового гідравлічного розподільника з пружинним

центруванням ГЗР1. Даний розподільник керує гідрозамками силових гідроциліндрів ГЗП1-ГЗП6 та забезпечує подачу рідини під тиском у порожнини гідроциліндрів ЦС1-ЦС6, унаслідок чого відбувається опускання траверси преса. Для запобігання гідравлічному удару застосовується дроселювання потоку робочої рідини за допомогою регульованого дроселя зі зворотним клапаном ДР2, який обмежує потік лише в одному напрямку. Це забезпечує плавне опускання преса та формування гідравлічної «подушки» за рахунок підйомних гідроциліндрів ЦП1-ЦП4, у які під час опускання силових гідроциліндрів починає надходити рідина під тиском. Такий захист реалізовано завдяки різниці ходів штоків гідроциліндрів опускання та піднімання.

Контроль рівномірності подачі тиску від насоса до гідросистеми здійснюється електронною системою керування DRG у поєднанні з редукційним клапаном КП4, налаштованим на тиск 26 МПа. Рівномірність подачі рідини для відкриття зливних клапанів силових гідроциліндрів забезпечується редукційним клапаном РТ1 з гідравлічним дистанційним керуванням та дроселем ДР1.

Після завершення процесу опускання вмикаються гідроциліндри піднімання траверси преса ЦП1–ЦП4. Їх робота забезпечується чотирилінійним двопозиційним гідравлічним розподільником з електромагнітним керуванням і пружиною зворотного ходу ГЗР2. Контроль тиску в гідросистемі підйомних гідроциліндрів здійснюється за допомогою запобіжного клапана непрямої дії з дистанційним керуванням КП2. Для забезпечення швидкого підйому преса використовується пневмогідравлічний акумулятор балонного типу А1.

Балонний гідроакумулятор є одним із найбільш поширених типів акумуляторів і призначений для роботи в гідроприводах швидкої дії з середніми витратами робочої рідини. Розділення газового та рідинного середовищ у ньому здійснюється за допомогою гумового балона. За зростання тиску в системі балон стискається, акумулюючи частину рідини, а при зниженні тиску стиснений газ витісняє рідину назад у гідросистему. Акумулятори встановлюються у вертикальному або горизонтальному положенні, при цьому рідинна порожнина повинна розташовуватися в нижній частині.

На лінії живлення робочих порожнин гідроциліндрів піднімання преса встановлений гідрозамок, відкривання якого здійснюється за допомогою гідравлічного розподільника ГЗР4, а контроль тиску забезпечується реле тиску ЛР3. Для запобігання аварійним режимам перед гідрозамком змонтовано запобіжний клапан з дистанційним керуванням КП8, граничний тиск спрацювання якого становить 18 МПа, при цьому номінальний тиск у гідросистемі не повинен перевищувати 15 МПа.

Рівномірність піднімання траверси преса забезпечується системою гідравлічної синхронізації, інтегрованою в гідроциліндри підйому. Синхронізація реалізується шляхом подачі однакової кількості робочої рідини в усі порожнини синхронізуючої частини гідроциліндрів. Система є замкнутою і підтримується під постійним тиском, що створюється насосом Н1, а компенсація втрат тиску здійснюється за допомогою гідравлічного акумулятора. Контроль рівномірності тиску виконують реле тиску ЛР1 та ЛР2. Перемикання між режимами опускання і піднімання траверси реалізується гідравлічними розподільниками ГЗР5 і ГЗР6, а утримання робочої рідини в гідравлічних порожнинах забезпечується зворотними клапанами К1-К8.

Візуальний контроль тиску в гідросистемі здійснюється за допомогою манометрів М1-М3. Робоча гідравлічна рідина зберігається у гідробаку закритого типу, що забезпечує стабільність параметрів гідроприводу та захист робочого середовища від забруднення.

#### **1.4 Постановка задачі на кваліфікаційну роботу**

Основним експлуатаційним недоліком пресової установки є інтенсивний знос ущільнювальних елементів притискних гідроциліндрів. Унаслідок деградації ущільнень виникає підтікання робочої рідини, що призводить до втрати тиску в робочих порожнинах гідроциліндрів і, відповідно, до нерівномірного розподілу притискного зусилля по всій площі траверси преса. Крім того, витік гідравлічної рідини може спричинити її потрапляння на

поверхню ламінованих деревостружкових плит, що негативно впливає на якість декоративного покриття та зовнішній вигляд готової продукції.

Зниження тиску в окремих гідроциліндрах може зумовлювати перекіс траверси преса, що, у свою чергу, призводить до появи локальних надломів у структурі деревостружкової плити, а також до утворення задирів і рисок на поверхні штоків гідроциліндрів. Частий знос ущільнювальних елементів потребує регулярного технічного обслуговування обладнання, яке супроводжується вимушеними зупинками виробничої лінії тривалістю 2–3 доби. При цьому близько однієї доби необхідно для охолодження преса, а ще дві — для його розбирання та заміни ущільнень або штоків, вартість яких є значною. Зазначені обставини обумовлюють суттєві економічні втрати підприємства.

Додатковим фактором, що впливає на інтенсивність зношування ущільнень, є нерівномірний температурний режим гідроциліндрів по їх довжині та перерізу. Так, температура на зовнішній поверхні гідроциліндра може становити близько 200 °С, тоді як у штоковій порожнині вона може досягати значно вищих значень. За таких умов екструзійний знос ущільнень може виникати також унаслідок некоректно визначених посадок під ущільнювальні елементи в штоковій порожнині.

У зв'язку з цим було прийнято рішення застосувати більш зносостійкі ущільнення, розраховані на роботу в розширеному діапазоні температур і внутрішніх тисків, а також виконати повторний інженерний аналіз, що включає розрахунок деформацій корпусу гідроциліндра та уточнення параметрів посадок ущільнень. Метою зазначених заходів є встановлення першопричин прискореного зносу ущільнювальних елементів і розроблення конструкції нового гідроциліндра з підвищеною експлуатаційною надійністю. Загальний вигляд удосконаленого гідроциліндра наведено на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Силові гідроциліндри

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Характеристика і конструктивний аналіз деталі

Деталь, що підлягає виготовленню – орпус, розміщується в механізмі силових гідроциліндрів преса ламінування деревостружкової плити.

Корпус гідроциліндра служить для утримання тиску рідини яка приводить в рух поршень гідроциліндра.

Корпус гідроциліндра складається із дна корпусу, гільзи та монтажних втулок. Для виготовлення корпусу гільзи використовується матеріал 30ХГСА ДСТУ 4543-99, легована конструкційна сталь із вмістом марганцю, кремнію та хрому.

Хімічний склад цієї сталі приводимо в таблиці 2.1, а механічні властивості в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 30ХГСА ДСТУ 4543-99

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
				не більше			
0,3	0,9-1,2	0,8-1,1	0,8-1,1	0,3	0,3	0,025	0,025

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 30ХГСА ДСТУ 4543-99

Твердість НВ	Границя текучості $\sigma_m$ , МПа	Границя міцності $\sigma_B$ , МПа	Відносне видовження $\delta$ , %	Відносне звуження $\psi$ , %	Модуль нормальної прожності $E_2$ , Па
212-248	490	655	16	45	$2,15 \times 10^{11}$

Технічні вимоги для виготовлення нової деталі приводимо в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні вимоги на виготовлення деталі.

Технічні вимоги	Аналіз технічних вимог	Метод контролю
Круглість та прямолінійність отвору 380мм не більше 0,016 мм та співвісність отвору відносно поверхні А не більше 0,03 мм	Забезпечує круглість, прямолінійність отвору під ущільнення, та співвісність його з базою А. Досягається чистовим шліфуванням.	Індикатор годинникового типу
Круглість та прямолінійність отвору 362мм не більше 0,016 мм та співвісність отвору відносно поверхні Б не більше 0,03 мм	Забезпечує круглість, прямолінійність отвору під ущільнення, та співвісність його з базою А. Досягається чистовим шліфуванням.	Індикатор годинникового типу
Торцеве биття поверхні 356 не більше 0,1 мм відносно поверхні А,Б.	Забезпечує перпендикулярність торця відносно бази А та Б, та відсутність сильного торцевого биття під час експлуатації гідроциліндра.	Індикатор годинникового типу

## 2.2 Обґрунтування технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус»

У процесі виконання розрахунків деформації корпусу силових гідроциліндрів було визначено максимальний зазор, що утворюється між внутрішньою поверхнею корпусу гідроциліндра та встановленими в ньому ущільнювальними елементами. На підставі отриманих розрахункових даних здійснено підбір термостійких ущільнень, придатних для роботи в умовах підвищених температур і тисків. З метою забезпечення необхідних посадкових параметрів було прийнято рішення про виготовлення нових корпусів силових гідроциліндрів, оскільки раніше застосовувані ущільнення з поліуретану твердістю 94 НВ, а також значні габарити деталей, матеріал і важкі умови експлуатації унеможлилювали відновлення внутрішньої поверхні корпусів до

номінального розміру  $\varnothing 380$  h6 для встановлення нових ущільнювальних елементів.

Конструктивні особливості деталі дозволяють застосовувати типові методи механічної обробки поверхонь із достатньою продуктивністю без використання спеціального або унікального інструменту та технологічного обладнання. Усі оброблювані поверхні мають вільний доступ для різального інструменту без технологічних обмежень. Допустимі відхилення розмірів, форми, взаємного розташування та параметрів шорсткості поверхонь є технологічно узгодженими, а всі розміри елементів можуть бути безпосередньо виміряні та проконтрольовані стандартними засобами контролю.

Під час обробки зовнішніх поверхонь деталі як технологічну та вимірювальну базу використовується внутрішній отвір, тоді як при обробці внутрішнього отвору базування здійснюється за зовнішніми поверхнями. Такий підхід забезпечує дотримання принципів постійності та суміщення баз, що позитивно впливає на точність виготовлення. Отже, з технологічної точки зору деталь «Корпус» є технологічною та придатною для серійного виготовлення.

Вибір методу і способу отримання заготовки для виготовлення корпусу значною мірою визначається матеріалом деталі, її функціональним призначенням, технічними вимогами до виготовлення, формою та розмірами поверхонь, а також виробничими можливостями підприємства. З урахуванням важких умов експлуатації та значних габаритів корпусу гідроциліндра було прийнято рішення використовувати заготовки для дна та гільзи у вигляді штамповок відповідно до ДСТУ 8479–92, а для виготовлення монтажних втулок — гарячекатаний круглий прокат згідно з ДСТУ 2590–98.

Внутрішні порожнини гідроциліндрів, у яких відбувається безпосередній контакт поршня з гільзою, як правило, піддаються хонінгуванню з метою досягнення високої прямолінійності та низької шорсткості поверхні. Посадкові поверхні під ущільнювальні елементи, залежно від вимог до точності, обробляються шліфуванням або розточуванням відносно базових поверхонь, що забезпечує необхідну круглість, прямолінійність і співвісність внутрішніх поверхонь корпусу та запобігає прискореному зносу деталей гідроциліндра.

Вихідні дані для розроблення технологічного процесу виготовлення деталі приймаються згідно з кресленням корпусу. Визначення матеріальних витрат, пов'язаних із виготовленням корпусу, здійснюється на основі розрахунку маси заготовки, для чого попередньо визначається її об'єм. Заготовка має зварну конструкцію та складається з двох поковок об'ємом, а також втулок, виготовлених із круглого гарячекатаного металопрокату.

Визначаємо об'єм заготовок отриманих ковкою:

$$V = \frac{3,14 \times d^2}{4} h, \quad (2.1)$$

де  $d$  – зовнішній діаметр поковки, см;

$h$  – довжина поковки, см.

Визначаємо об'єм поковки  $\varnothing 530 \times 250$  мм:

$$V_1 = \frac{3,14 \times 53,2^2}{4} \times 25 = 55126,625 \text{ см}^3$$

Визначаємо об'єм поковки  $\varnothing 532 \times 540$  мм із внутрішнім отвором  $\varnothing 300$  мм:

$$V_2 = \frac{3,14 \times d^2}{4} \times h - \frac{3,14 \times d_2^2}{4} \times h, \quad (2.2)$$

де  $d$  – зовнішній діаметр поковки, см;

$d_2$  – внутрішній діаметр поковки, см.

$h$  – довжина поковки, см.

Об'єм поковки із внутрішнім отвором рівний:

$$V_2 = \frac{3,14 \times 53,2^2}{4} \times 54 - \frac{3,14 \times 30^2}{4} \times 54 = 70070,67 \text{ см}^3$$

Визначаємо загальний об'єм поковки:

$$V = V_1 + V_2, \quad (2.3)$$

де  $V_1$  – об'єм поковки без внутрішнього отвору,  $\text{см}^3$ ;

$V_2$  – об'єм поковки з внутрішнім отвором,  $\text{см}^3$ .

$$V = 55126,625 + 70070,67 = 125197,295 \text{ см}^3$$

Визначаємо масу заготовки:

$$M_{зп} = \rho \cdot V, \quad (2.4)$$

$$M_{зп} = 125197,295 \times 0,0078 = 976,5 \text{ кг}$$

де  $\rho$  – густина матеріалу (для сталі 30ХГСА  $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$ );

$V$  – загальний об'єм заготовок із поковки,  $\text{см}^3$ .

Визначаємо вартість матеріалу:

$$B_{мп} = M_з \times Ц_з, \quad (2.5)$$

де  $M_з$  – маса заготовки, кг;

$Ц_з$  – ціна заготовки з ПДВ, грн.

$$B_{мп} = 976,5 \times 23 = 19883,5 \text{ грн.}$$

Визначаємо собівартість заготовки з прокату :

$$S_{np} = B_{np} + C_0, \quad (2.6)$$

де  $B_{np}$  – затрати на матеріали заготовки, грн.;

$C_0$  - технологічна собівартість операції вирізки, грн.;

Затрати на матеріал заготовки визначаємо по формулі (2.7):

$$B_{np} = M_{np} \times C_{np}, \quad (2.7)$$

де  $M_{np}$ . - вага заготовки, кг;

$C_{np}$  – вартість 1 кг матеріалу заготовки з ПДВ, грн.;

Вага заготовки визначається по формулі (2.8):

$$M_{np} = \frac{3,14 \cdot D_{np}^2}{4} \cdot L_{np} \cdot \rho, \quad (2.8)$$

де  $D_{np}$  – діаметр прокату, см;

$L_{np}$  – довжина заготовки, см;

$\rho$  – густина матеріалу ( $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>)

Діаметр заготовки визначаємо по формулі (2.9):

$$D_{np} = D_{д} + 2Z, \quad (2.9)$$

де  $D_{д}$  - діаметр лімітуючої поверхні деталі, мм;

$2Z$  – припуск на обробку даної поверхні, мм.

$$D_{np} = 64 + 2 \times 2,25 = 68,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $D_{np} = 70$  мм = 7 см ДСТУ 2590-98

Довжина заготовки з прокату визначається по формулі (2.10):

$$L_{np} = L + 2Z, \quad (2.10)$$

де  $L_{np}$  – довжина деталі, мм;

$Z$  – припуск на обробку торця, мм.

$$L_{np} = 40 + 2 \times 2,4 = 44,8 \text{ мм.}$$

Приймаємо найближче значення з нормалізованого ряду лінійних розмірів:

$$L_{np} = 45 \text{ мм} = 4,5 \text{ см.}$$

Визначаємо масу заготовки:

$$M_{np} = \frac{3,14 \cdot 7^2}{4} 4,5 \cdot 7,8 = 1350,12 \text{ г.} = 1,35 \text{ кг.}$$

$$B_{np} = 1,35 \times 18 = 24,3 \text{ грн.}$$

Технологічна собівартість операції вирізання заготовки визначається по формулі (2.11):

$$C_0 = \frac{C_{н.з.} \cdot T_{шт}}{60}, \quad (2.11)$$

$C_{н.з.}$  - приведені затрати при вирізанні заготовки з листа металу, грн /год;

$T_{шт}$  - час на операцію вирізання, хв.

$$T_{шт} = 0,052 \cdot D_{np} = 0,052 \times 70 = 3,64 \text{ хв.} \quad (2.12)$$

$$C_0 = \frac{11,9 \times 3,64}{60} = 0,72 \text{ грн.}$$

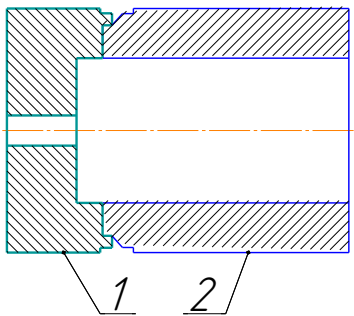
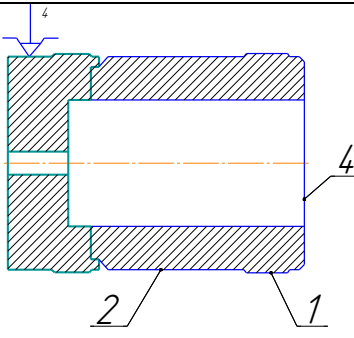
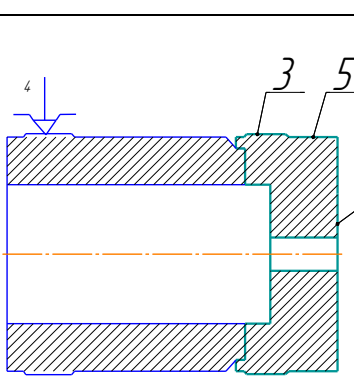
Собівартість заготовки складає:

$$S_{np} = 0,72 + 24,3 = 25,02 \text{ грн.}$$

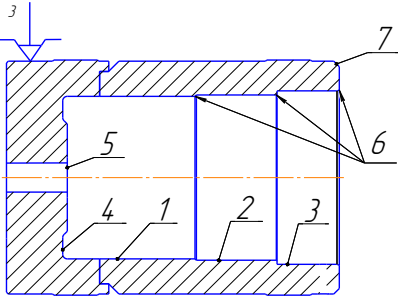
## 2.3 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Враховуємо, що деталі є частково оброблені згідно креслень дна гільзи та монтажних втулок, кромки підготовлені до зварювання.

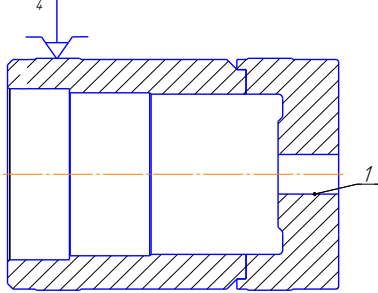
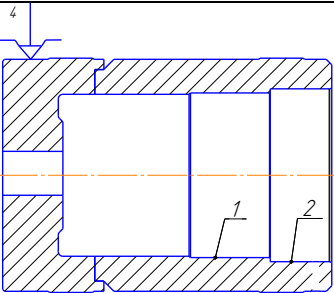
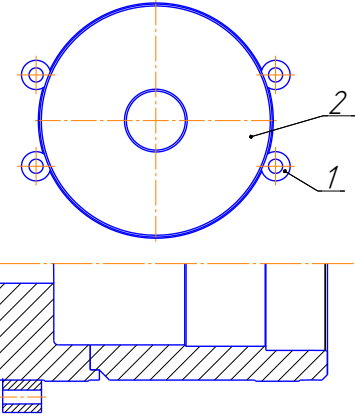
Таблиця 2.4 – Технологічний маршрут виготовлення деталі «Корпус»

операції	Назва і зміст операції	Обладнання та контрольні-вимірювальні пристрої	Інструмент, матеріал	Ескіз обробки
1	2	3	4	5
005	Зварювальна 1. Зварити дно (1) та гільзу (2) між собою.	Ручний АРД зварювальний апарат. Стіл зварювальний універсальний. Ультразвуковий контроль (УЗК) ДСТУ 14782-96	Матеріал для зварювання сталь 20ХГС ГОСТ 4543-71	
010	Токарна 1.Точити поверхню начорно(1). 2.Точити поверхню (1) начисто Ø515h10 3.Точити поверхню(2)начисто Ø510h10 4.Підрізати торець (4) начорно. Ø510	Верстат16K50П Патрон трьохкулачковий самоцентруючий Штангенциркуль ШЩЦ-III-1000-0,03 ДСТУ 166-99	Різець прохідний відігнутий Т15К6 ДСТУ 18868-93	
010	5.Підрізати торець (4)начисто Ø510 6.Переустановити 7.Точити поверхню(3) начорно. 8.Точити поверхню(3) начисто Ø515h10 9.Точити поверхню (5) начисто Ø515h10 10.Підрізати торець(6) начорно Ø510 11.Підрізати торець(6) начисто Ø510			

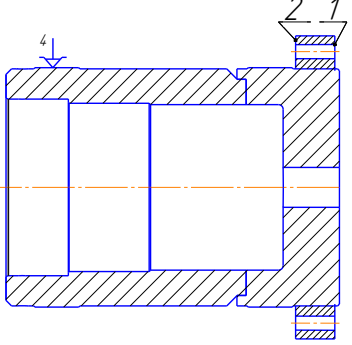
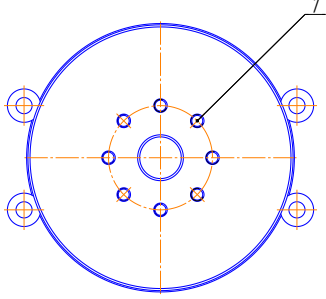
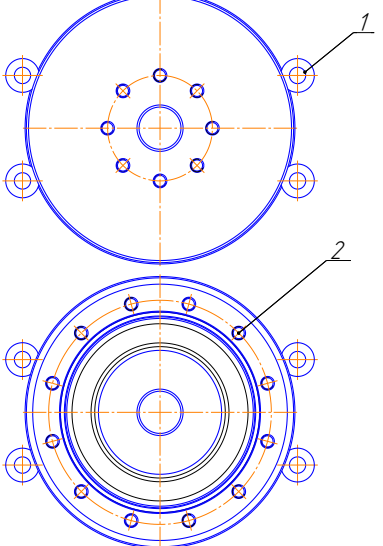
## Продовження таблиці 2.4

015	<p>Токарна</p> <p>1.Точити поверхню(1) начорно.</p> <p>2. Точити канавку (4) начорно</p> <p>3.Підрізати торець (5) начорно</p> <p>2.Точити поверхню (1) начисто Ø356h10</p> <p>3.Точити канавку (4) начисто</p> <p>4.Підрізати торець (5) начисто</p> <p>5.Точити поверхню (2) начорно</p> <p>6.Точити поверхню (2) начисто Ø362H10</p> <p>7.Точити поверхню(3) начорно</p> <p>8.Точити поверхню (3) начисто Ø380H10</p>	<p>Верстат 16К50П</p> <p>Патрон трьохкулачковий.</p> <p>Штанга-різетримач</p> <p>Штангенциркуль</p> <p>ШЦЦВ-500-0,04</p> <p>ДСТУ 166-99</p>	<p>Різець розточний Т15К6 ДСТУ 18063-92</p> <p>Різець розточний Т15К6 ДСТУ 18883-93</p> <p>Різець розточний Т15К6 ДСТУ 18063-92</p> <p>Різець розточний Т15К6 ДСТУ 18883-93</p> <p>Різець розточний Т15К6 ДСТУ 18063-72</p>	
15	<p>9.Зняти фаски (6) 3x45°</p> <p>10.Зняти фаску (7)10x45°</p>		<p>Різець розточний Т15К6 ДСТУ 18063-92</p> <p>Різець прохідний відігнутий Т15К6 ДСТУ 18868-93</p>	

## Продовження таблиці 2.4

20	<p>Токарна</p> <p>1.Розсвердлити отвір(1) до діаметру Ø70</p> <p>2.Розточити отвір (1) начорно</p> <p>3.Розточити отвір(1) начисто до діаметру Ø80Н10</p>	<p>Верстат 16К50П</p> <p>Патрон трьохкулачковий самоцентруючий Штангенциркуль ШЦЦВ-500-0,04 ДСТУ 166-99</p>	<p>Свердло спіральне Р6М5 ДСТУ 10903-97</p> <p>Різець розточний Т15К6 ДСТУ 18063-92</p>	
25	<p>Шліфувальна</p> <p>1.Шліфувати поверхню (1) начорно Ø362Н8</p> <p>2.Шліфувати поверхню (1) начисто Ø362Н6</p> <p>3.Шліфувати поверхню (2) начорно Ø380Н8</p> <p>4.Шліфувати поверхню(2) начисто. Ø380Н6</p>	<p>Верстат круглошліфувальний 3К229В</p> <p>Патрон трьохкулачковий Нутромір microtech</p>	<p>Круг ПП 50-25-50-2А-50 ДСТУ 2424-93</p>	
30	<p>Зварювальна</p> <p>1.Приварити монтажні втулки (1) до корпусу гільзи (2)</p>	<p>АРД зварювальний апарат. Стіл універсальний зварювальний. Штангенциркуль міжцентровий ШЦЦМ-550-0,05 Штангенциркуль ШЦЦ-Ш-1000-0,01 ДСТУ 166-99</p>	<p>Матеріал для зварювання сталь 20ХГС ДСТУ 4543-91</p>	

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
35	Токарна 1.Підрізати торець (1)(2) начорно Ø64 1.Підрізати торець (1)(2) начисто Ø64	Верстат 16К50П Патрон трьохкулачковий самоцентруючий Штангенциркуль ШЦЦВ-500-0,04 ГОСТ 166-89 Штангенциркуль ШЦ-125-0,05 ДСТУ 166-99	Різець прохідний відігнутий Т15К6 ДСТУ 18868-93	
40	Свердлильна 1.Просверлити отвори(1) під різьбу. М24-7Н 3.Нарізати різьбу в отворах(1) М24-7Н	Верстат вертикально-свердлильний 2Г175М Пристрій верстатний Штангенциркуль ШЦ-125-0,05 ДСТУ 166-99 Штангенциркуль Міжцентровий ШЦЦМ-550-0,05	Свердло спіральне Р6М5 ДСТУ 10903-97 Мітчик машинно-ручний Р6М5 ДСТУ 18839-93	
45	Координатно-розточна 1.Розсверлити отвори (2) Ø31Н14 2.Переустановити 3.Просверлити отвори (2) під різьбу. М24-7Н 4.Нарізати різьбу в отворах (2) М24-7Н	Верстат координатно-розточний 2Б460А Пристрій верстатний Штангенциркуль ШЦ-125-0,05 ДСТУ 166-99 Штангенциркуль Міжцентровий ШЦЦМ-550-0,05		

Перед початком проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» доцільно виконати розрахунок припусків на механічну обробку та визначити проміжні розміри за окремими переходами.

Припуск – це шар матеріалу, який видаляється з поверхні заготовки з метою забезпечення заданих геометричних параметрів, точності, шорсткості та інших експлуатаційних властивостей оброблюваної поверхні деталі.

Призначення припусків на обробку може здійснюватися за довідниковими таблицями, відповідними стандартами або на основі розрахунково-аналітичного методу. Використання нормативних таблиць і стандартів дозволяє визначати припуски незалежно від конкретних умов реалізації технологічного процесу, однак у більшості випадків такі значення є завищеними, оскільки містять резерви за витратами матеріалу та трудомісткістю виготовлення деталі.

Проміжні припуски мають принципове значення при розробленні технологічних операцій механічної обробки. Їх коректне призначення забезпечує раціональне використання матеріальних і трудових ресурсів, а також сприяє підвищенню економічності виробництва. У масовому та великосерійному виробництві проміжні припуски доцільно визначати аналітичним методом, що дає змогу мінімізувати витрати матеріалу, електроенергії та інших виробничих ресурсів. Натомість у серійному та одиничному виробництві найчастіше застосовують статистичний (табличний) метод, який забезпечує оперативність технологічної підготовки виробництва і зменшує обсяг трудомістких розрахунків для інженерно-технічного персоналу.

Розрахунок та встановлення проміжних розмірів оброблюваних поверхонь деталі виконують після призначення припусків (зокрема, табличним методом), з урахуванням послідовності переходів і вимог до точності на кожній стадії обробки.

Вибір проміжних припусків відповідно до ДСТУ 7829–93 та розрахунок проміжних розмірів на поверхнях деталі, що виготовляється, доцільно подати у вигляді таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок припусків та проміжних розмірів

Маршрут обробки поверхні вала	Квалітет точності	Шорсткість	Фактичний припуск на ліаметр, мм	Проміжні розміри	
				Розрахунковий розмір, мм.	Прийнятий допуском
1	2	3	4	5	6
Розточування чистове	H10	3,2	1,5	Ø80	Ø80 <sup>+0,12</sup>
Розточування чорнове	H12	6,3	3,5	Ø77	Ø77 <sup>+0,3</sup>
Розсвердлювання	H12	12,5	20	Ø70	Ø70 <sup>+0,3</sup>
Отвір					Ø30±1
Шліфування чистове	H6	0,63	0,5	Ø380	Ø380 <sup>+0,036</sup>
Шліфування чорнове	H8	1,25	0,7	Ø379,5	Ø379,5 <sup>+0,052</sup>
Розточування чистове	H10	3,2	6,8	Ø378,8	Ø378 <sup>+0,23</sup>
Розточування чорнове	H12	6,3	10	Ø372	Ø372 <sup>+0,57</sup>
Шліфування чистове	H6	0,63	0,5	Ø362	Ø362 <sup>+0,036</sup>
Шліфування чорнове	H8	1,25	0,7	Ø361,5	Ø361,5 <sup>+0,052</sup>
Розточування чистове	H10	3,2	1,8	Ø360,8	Ø360 <sup>+0,23</sup>
Розточування чорнове	H12	6,3	3	Ø359	Ø 359 <sup>+0,57</sup>
Підрізання торця чистове	js9	3,2	1,5	590	590 <sup>+0,35</sup> 590 <sup>-0,35</sup>
Підрізання торця чорнове	js12	6,3	3,5	588,5	588,5 <sup>+0,8</sup> 588,5 <sup>-0,8</sup>
Довжина отвору					L=585 <sup>±1</sup>
Розточування чистове	H10	3,2	3,2	Ø356	Ø356 <sup>+0,23</sup>
Розточування чорнове	H12	6,3	2×8,85	Ø347,7	Ø 347,7 <sup>+0,57</sup>
Заготовка поковка					Ø330±6
Розсвердлювання чистове	H10	3,2	2×6,25	Ø31	Ø31 <sup>+0,62</sup> Ø18,5 <sup>+0,8</sup>
Отвір					

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
Розсвердлювання чистове Свердління	H10	6,3	2×1,175	Ø20,85	Ø20,85 <sup>+0,62</sup>
	H12	12,5	2×9,25	Ø18.5	Ø18,5 <sup>+0,8</sup>
Чистове точіння	h10	12,5	5,0	Ø510	Ø510 <sub>-0,28</sub>
Чистове точіння Чорнове точіння	h10	6,3	2×3,7	Ø515	Ø515 <sup>-0,28</sup>
	js15	12,5	2×8,8	Ø522,4	Ø522,4 <sup>+2,8</sup> <sub>-2,8</sub>
Заготовка поковка					Ø532±8
Підрізання торців чистове Підрізання торців чорнове	h12	3,0	2×1,5	L=722	L=722 <sup>-0,8</sup>
	js14	12,5	2×5	L=725	<sup>+1,8</sup> L=725 <sub>-1,8</sub>
Заготовка поковка					L=735±6
Підрізати торець начисто Підрізати торець начорно	h12	3,2	2×1	L=40	L=40 <sup>-0,25</sup>
	h14	6,3	2×1,5	L=42	L=42 <sup>-0,43</sup>
Заготовка прокат				L=45	<sup>+0,7</sup> L=45 <sub>-0,7</sub>

Здійсимо для прикладу аналітичний розрахунок припусків на обробку і граничні відхилення по технологічних переходах для зовнішнього діаметру Ø515<sup>-0,28</sup>. Заготовкою є поковка Ø532±8

Мінімальний припуск на чорнову обробку такої поверхні визначається за формулою (2.13):

$$2z_{чор\ min} = 2 \times (Rz_{нок} + h_{нок} + \sqrt{\Delta_{нок}^2 + \Sigma_{чор}^2}), \quad (2.13)$$

де  $Rz_{нок} + h_{нок}$  - відхилення точності поковок що виготовляються ковкою;

$$Rz_{нок} + h_{нок} = 2 \text{ мм}$$

$\Delta_{нок}$  - сумарне значення кривизни поковки, та похибки центрування заготовки.

$\Sigma_{чор}$  - величина похибки встановлення заготовки при технологічному переході що виконується, приймаємо  $\Sigma_{чор}=2,8$  мм:

$$\Delta_{нок} = \sqrt{\Delta_k^2 + \Delta_{ц}^2} \quad , \quad (2.14)$$

де  $\Delta_k$  - кривизна заготовки,  $\Delta_k=2$ мм;

$\Delta_{ц}$  - похибка центрування,  $\Delta_{ц}=2$ мм

$$\Delta_{нок} = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2,82 \text{ мм}$$

Визначаємо припуск на чорнову обробку:

$$2z_{чор\min} = 2 \times (2 + \sqrt{2,82^2 + 2,8^2}) = 11,94 \text{ мм}$$

Прийнявши припуск по діаметру на чорнову обробку 11,94 мм, отримаємо глибину різання  $t$ : яка рівна 5,97 мм.

Визначаємо остаточне відхилення розташування після чорнової механічної обробки за формулою (2.15):

$$\Delta_{ост} = W \times C_y \times S^y \times HB^n \times [t^x - (t - \Delta_{нок})^x] \quad (2.15)$$

де  $W$  – податливість технологічної системи  $W=0,1$ мкм/Н;

$C_y$  - коефіцієнт що характеризує умови різання,;

$S$  – подача при токарній обробці,мм/об;

$HB$  – твердість матеріалу що оброблюється по Бріненю,МПа;

$\Delta_{пок}$  - сумарне значення кривизни поковки, та похибки центрування заготовки, мм;

$t$  – глибина різання, мм;

$n, y, x$  – показники степенів в формулах

$$\Delta_{ост} = 0,1 \times 0,00027 \times 2^{0,75} \times 2120^2 \times \left[ 5,97^{0,9} - (5,97 - 2,82)^{0,9} \right] = 448 \text{ мкм.}$$

Визначаємо коефіцієнт уточнення для чорнової обробки за формулою (2.16):

$$K_y = \frac{\Delta_{ост}}{\Delta_{пок}}, \quad (2.16)$$

де  $\Delta_{ост}$  - остаточне відхилення розташування після чорнової механічної обробки, мм;

$\Delta_{пок}$  - сумарне значення кривизни поковки, та похибки центрування заготовки, мм.

$$K_y = \frac{0,448}{2,82} = 0,16$$

Припуск на чистову обробку визначається з формули (2.17):

$$2z_{чист\ min} = 2 \times (Rz_{чор} + h_{чор} + \sqrt{\Delta_{ост}^2 + \varepsilon_{чист}^2}) \quad (2.17)$$

Де  $Rz_{чор}, h_{чор}$  - показники точності та якості поверхні поволок після механічної обробки, отриманих ковкою на пресах, молотах та підкладних штампах, мкм;

$\Delta_{ост}$  - остаточне відхилення розташування після чорнової механічної обробки, мкм;

$\varepsilon_{чист}$  - величина похибки встановлення заготовки при технологічному переході що виконується, приймаємо  $\varepsilon_{чист} = 230$  мкм.

$$2z_{чист\min} = 2 \times (250 + 240 + \sqrt{448^2 + 280^2}) = 2036 \text{ мкм} = 2,00 \text{ мм}$$

Загальний мінімальний припуск на припуск на обробку:

$$2z_{з\min} = 2z_{чор\min} + 2z_{чист\min} \quad (2.18)$$

де  $2z_{чор\min}$  - мінімальний припуск на чорнову обробку, мм;

$2z_{чист\min}$  - припуск на чистову обробку, мм.

$$2z_{з\min} = 11,94 + 2 = 13,94 \text{ мм}$$

Перерахуємо розрахунковий мінімальний припуск на номінальний враховуючи максимальні відхилення які може мати заготовка після ковки:

$$2z_{з\text{ ном}} = 2z_{з\min} + ei_з + ei_д \quad (2.19)$$

де  $2z_{з\min}$  - загальний мінімальний припуск на обробку, мм;

$ei_з$  - верхнє відхилення розміру заготовки, мм;

$ei_д$  - верхнє відхилення розміру деталі, мм

$$2z_{з\text{ ном}} = 13,94 + 8 + 0 = 21,9 \text{ мм}$$

По ДСТУ 7829-00 припуск на обробку зовнішньої поверхні поковки такого типу складає 25 мм. На чорнову обробку при максимальному відхиленні 17,6 мм на діаметр, на чистову 7,4 мм на діаметр.

## 2.4 Визначення режимів різання для верстатних операцій

Для прикладу приводимо аналітичний розрахунок режиму різання для чистового точіння поверхні Ø515 яке проводиться під час операції 010 токарної.

Обробка проводиться на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К50П.

I. Вибираємо різець і встановлюємо його геометричні параметри.

По таблиці 5 с. 119 [5] приймаємо прохідний прямий різець ДСТУ 18869-93. Матеріал ріжучої частини – твердий сплав Т15К6 (таблиця 3, с 116, [5]).

Геометричні параметри різця встановлюємо по додатку 2 с. 355 [5]: головний кут в плані  $\varphi = 90^\circ$ , допоміжний кут в плані  $\varphi_1 = 10^\circ$ , передній кут  $\gamma = 10^\circ$  кут нахилу ріжучої кромки  $\lambda = 0^\circ$ , радіус при вершині  $r = 1$  мм.

II. Розрахунок режимів різання виконуємо по довіднику [5] в наступній послідовності.

1) Визначаємо глибину різання  $t$ . Приймаємо її рівною величині припуску на сторону для даного переходу:

$$t = \frac{(D-d)}{2}, \quad (2.20)$$

де  $D$  – діаметр деталі до обробки, мм

$d$  – діаметр деталі після обробки, мм

$$t = \frac{(522,4 - 515)}{2} = 3,7 \text{ мм.}$$

2) Виходячи із заданого параметра шорсткості, яку потрібно досягнути визначаємо подачу,  $S_p = 1,0 - 1,4$  мм/об (с.266, табл.11)

По паспорту верстата приймаємо  $S_p = 1,12$  мм/об.

3) Назначаємо період стійкості різця,  $T = 40$  хв.(с.268)

Визначаємо розрахункову швидкість різання:

$$V_p = \frac{C_v}{T^m \times t^x \times S^y} K_v, \quad (2.21)$$

де  $C_v, m, x, y$  - коефіцієнт і показники степені для визначення швидкості різання,  $C_v = 340$ ,  $m = 0,2$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,45$  (с.269, табл. 17).

$K_v$  - поправочний коефіцієнт на швидкість.

$$K_v = K_{mv} \times K_{nv} \times K_{iv} \times K_{\varphi v} \times K_{\varphi 1v} \times K_{rv} \times K_{ov}, \quad (2.22)$$

де  $K_{nv}$  - коефіцієнт, який враховує метод отримання заготовки і стан її поверхні,  $K_{nv} = 1,0$  (с.263, табл. 5);

$K_{iv}$  - коефіцієнт який враховує матеріал інструмента,

$K_{iv} = 1,0$  (с.263, табл. 6)

$K_{\varphi v}$  - коефіцієнт, який враховує головний кут в плані різця,

$K_{\varphi v} = 0,7$  (с.271, табл. 18)

$K_{\varphi 1v}$  - коефіцієнт, який враховує допоміжний кут в плані різця,

$K_{\varphi 1v} = 1,0$  (с.271, табл. 18)

$K_{rv}$  - коефіцієнт який враховує радіус при вершині різця,

$K_{rv} = 0,94$  (с.271, табл. 18)

$K_{mv}$  - коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки. (с. 261, табл. 1 і с.262, табл. 2);

$$K_{mv} = K_r \times \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}, \quad (2.23)$$

де  $K_r$ , - коефіцієнт, що характеризує групу сталі по оброблюваності,  
 $n_v$  - показник степені.  $K_r=1,0$   $n_v=1,0$  (див. в табл. 2, стор.261-262).

$$K_{mv} = 1,0 \times \left( \frac{750}{610} \right)^1 = 1,2$$

$K_{ov}$  – коефіцієнт, який враховує вид обробки,

$K_{ov} = 0,9$  (с 270, додаток до таблиці 17).

$$K_v = 1,2 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,0 \times 0,94 \times 0,9 = 0,71$$

Таким чином:

$$V_p = \frac{340}{40^{0,2} \times 3,7^{0,15} \times 1,12^{0,45}} \times 0,71 = 133,64 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 \times V}{3,14 \times D}, \quad (2.24)$$

$$n_p = \frac{1000 \times 133,64}{3,14 \times 522,4} = 81,47 \text{ об/хв.}$$

де  $D$  - діаметр поверхні, що обробляється.

Згідно з паспортом верстату приймаємо  $n_d = 80$  об/хв.

б) Визначаємо дійсну швидкість різання:

$$V_D = \frac{3,14 \times D \times n_D}{1000}, \quad (2.25)$$

$$V_d = \frac{3,14 \times 522,4 \times 80}{1000} = 131,22 \text{ м/хв.}$$

7) Визначаємо головну складову сили різання:

$$P_z = 10 \times C_p \times t^x \times S^y \times V^n \times K_p, \quad (2.26)$$

де  $C_p, x, y, n$  - коефіцієнт і показники степені для визначення сили різання,

$$C_p = 300, x = 1,0, y = 0,75, n = -0,15 \text{ (с. 273, табл. 22)}$$

$t$  – глибина різання,

$D$  – діаметр оброблюваної поверхні,

$S$  – подача;

$K_p$  – поправочний коефіцієнт на силу різання:

$$K_p = K_{mp} \times K_{\varphi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{rp}, \quad (2.27)$$

де  $K_{\varphi p}$  - коефіцієнт, який враховує головний кут в плані різця;

$$K_{\varphi p} = 0,89 \text{ (с.275, табл. 23);}$$

$K_{\gamma p}$  – коефіцієнт що враховує передній кут;

$$K_{\gamma p} = 1,0 \text{ (с.275, табл. 23);}$$

$K_{\lambda p}$  – коефіцієнт, який враховує кут похилу ріжучої кромки;

$$K_{\lambda p} = 1,0 \text{ (с.275, табл. 23);}$$

$K_{rp}$  – коефіцієнт, який враховує радіус при вершині різця;

$K_{mp}$  – коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки (с. 264, табл.9):

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \quad (2.28)$$

де  $\sigma_B$  - межа міцності, МПа.

$$K_{\text{мп}} = \left( \frac{655}{750} \right)^{0,75} = 0,9$$

$$K_p = 0,9 \times 0,89 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,8$$

$$P_z = 10 \times 300 \times 3,7^1 \times 1,12^{0,75} \times 131,22^{-0,15} \times 0,8 = 4603,39 \text{ Н.}$$

8) Визначаємо потужність, яка затрачується на різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \times V_{\text{Д}}}{1020 \times 60}, \quad (2.29)$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{4603,39 \times 131,22}{1020 \times 60} = 9,8 \text{ кВт.}$$

де  $V_{\text{Д}}$  - дійсна швидкість різання, м/хв.;

$P_z$  - головна складова сили різання, Н.

$$N_{\text{різ}} < N_{\text{Д}} \times \eta \text{ - умова різання} \quad (2.30)$$

де  $N_{\text{Д}}$  - потужність двигуна верстата,  $N_{\text{Д}} = 22$  кВт;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії.

Таким чином:

$$9,8 < 22 \times 0,8$$

$$9,8 < 17,6$$

10) Визначаємо основний час:

$$T_0 = \frac{L_{\text{рх}}}{S \times n_{\text{Д}}}, \quad (2.31)$$

де  $L_{\text{рх}}$  - довжина робочого ходу:

$$L_{\text{рх}} = L + y + y_1, \quad (2.32)$$

Таблиця 2.6 – Таблиця режимів різання

Назва операції, короткий її зміст	Глибина різання	Діаметр мм.	Довжина робочого ходу	Розрахункові			Прийняті			Потужність потрібна на різання $nN, кВт$	Основний час $t, хв.$
				Подача мм/об	Частота обертання об/хв	Швидкість різання м/хв.	Подача мм/об	Частота обертання об/хв	Швидкість різання дійсна м/хв.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
010 Токарна											
1.Точити поверхню начорно (1).	2x8,8	522,4	526	0,6-1,3	47,53	79,4	1,28	40	65,61	13,6	10,3
2.Точити поверхню (1), начисто $\varnothing 515h10$	2x3,7	515	526	1,0-1,4	81,47	133,6	1,12	80	131,22	9,8	5,89
3.Точити поверхню (2)начисто $\varnothing 510h10$	2x2,5	510	526	0,5-0,9	103,7	166,08	0,7	100	160,14	5,6	4,69
4.Підрізати торець (4) начорно. $\varnothing 510$	5	510	257	0,8-0,9	88,45	141,28	0,8	80	128,11	10,2	4,01
5.Підрізати торець (4)начисто $\varnothing 510h10$	1,5	510	257	0,4-0,55	143,8	230,2	0,4	125	200,17	5,9	5,14
6.Точити поверхню (3) начорно.	2x8,8	522,4	204	0,6-1,3	47,53	79,4	1,28	40	65,61	9,6	9,98
7.Точити поверхню (3) начисто $\varnothing 515h10$	2x3,7	515	204	1,0-1,4	81,47	133,6	1,12	80	131,22	9,8	2,27
8.Точити поверхню (5)начисто $\varnothing 510h10$	2x2,5	510	107	0,5-0,9	103,7	166,08	0,7	100	160,14	5,6	1,52
9.Підрізати торець (6) начорно $\varnothing 510$	5	510	257	0,8-0,9	88,45	141,28	0,8	80	128,11	10,2	4,01
10.Підрізати торець (6) начисто $\varnothing 510$	1,5	510	257	0,4-0,55	143,8	230,2	0,4	125	200,17	5,9	5,14

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
015 Токарна											
1.Точити поверхню (1) начорно.	2x8,8 5	347,7	594	0,5-0,9	114,4	124,99	0,87	100	109,18	9,1	6,82
2. Точити канавку (4) начорно	6	356	603,6	0,5-0,7	121,7	136,05	0,7	100	111,78	9,5	8,62
3.Підрізати торець (5) начорно	3,5	255	127,5	0,7-1,0	214,5	158,28	0,7	200	147,58	6,16	0,76
4.Точити поверхню (1) начисто Ø356h10	2x1,6	356	594	0,3-0,66	176,05	196,8	0,56	160	169,25	3,2	6,62
5.Точити канавку (4) начисто	4	356	604	0,4-0,55	157,22	175,75	0,48	125	139,73	8,19	10,1
6.Підрізати торець (5) начисто	1,5	255	127,5	0,3-0,45	313,32	231,2	0,4	250	184,48	8,9	1,18
7.Точити поверхню (2) начорно	2x1,5	359	317	0,7-0,1	159,4	179,7	0,7	125	140,9	3,02	3,62
8.Точити поверхню (2) начисто Ø362H10	2x0,9	360,8	317	0,3-0,51	212,86	241,62	0,43	200	227,02	3,36	3,68
9.Точити поверхню (3) начорно	2x5	372	139	0,6-0,9	128,44	150,03	0,7	125	146,01	10,2	1,59
10.Точити поверхню (3) начисто Ø380H10	2x3,4	378,8	139	0,3-0,51	169,4	197,94	0,43	160	190,3	6,34	2,02
11.Зняти фаски (6) 3x45 <sup>0</sup>	3	380	7	0,5-0,9	127,83	152,53	0,8	125	149,15	7,02	0,07
12.Зняти фаску (7) 12x45 <sup>0</sup>	12	510	16	0,5-0,9	74,4	119,3	0,87	63	100,88	10,1	0,29
020 Токарна											
1.Розсвердли отвір(1) до діаметру Ø70	2x20	70	138	1,0-1,2	81,7	17,96	1,12	80	17,58	8,6	1,54
2.Розточити отвір (1) начорно	2x3,5	77	136	0,6-0,9	654,7	158,3	0,8	500	120,89	1,77	0,34
3.Розточити отвір(1) начисто до діаметру Ø80H10	2x1,5	80	136	0,44-0,8	715,04	179,62	0,7	500	125,6	2,7	0,4

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
025 Шліфува- льна 1.Шліф. поверхню (1) начорно Ø362Н8 2.Шліфю поверхню (1) начисто Ø362Н6 3.Шліф. поверхню (2) начорно Ø380Н8 4.Шліф. поверхню (2) \ начисто. Ø380Н6	0,025    0,005   0,025  0,005	361,5   362  379,5  380	337  337  188  188	0,0025- 0,075  0,001- 0,005  0,0025 0,075  0,001 0,005	400  460  400  460	25  30  25  30	0,0025  0,001  0,0025  0,001	400  460  400  460	25  30  25  30	1,93  1,84  2,14  1,98	1,38  2,3  0,45  0,58
035 Токарна 1.Підрізати торець (1)(2) начорноØ64 1.Підрізати торець (1)(2) начистоØ64	2x1,5   2x1	42   40	61   61	1,2-1,5   0,5-0,9	69,9   91,79	136,98   179,86	1,28   0,8	63   80	123,4   156,75	4,3   2,43	0,75   0,95
040 Свердли- льна 1.Просвердл ити отвори(1). 3.Нарізати різьбу в отворах(1) М24-7Н	2x10. 45  2x1,5 75	20.9  24	65  7x55	0,33- 0,38  3,0	451,7  167	26,24  12,6	0,35  3,0	450  167	25,9  12,6	1,9  2,1	1,32  1,15
045 Координат- но-розточна 4.Розсвердл ити отвори (3) Ø31Н14 5.Просвердл ити отвори (2) 7.Нарізати різьбу в отворах (2) М24-7Н	2x6,2 5  2x10, 45  2x1,5 75	31  20,9  24	44  65  7x55	058- 066  0,33- 038  3,0	229,71  451,7  167	22,36  26,24  12,6	0,6  0,35  3,0	200  450  167	19,3  25,9  12,6	1,36  1,9  1,45	0,58  1,32  1,15

## 2.5 Розробка технологічного процесу розбирання та складання силових гідروциліндрів

Вихідними даними для проєктування технологічного процесу складання/розбирання виробу є складальне креслення та технічні умови. Опрацювання конструкції виробу, що підлягає складанню або розбиранню, завершують розробленням технологічних схем розбирання (рис. 2.1) і складання (рис. 2.2). Зазначені схеми є одним із ключових етапів технологічної підготовки виробництва, оскільки в наочній формі відображають маршрут складання виробу та його складальних одиниць, а також послідовність виконання операцій.

За наявності натурального зразка виробу побудова технологічних схем істотно спрощується, оскільки раціональна послідовність складання може бути обґрунтована шляхом пробного розбирання. Елементи, що демонтуються в нерозбірному (збірному) стані, розглядаються як окремі складальні одиниці, для яких надалі формують технологічні схеми вузлового складання. Деталі, що знімаються поелементно, належать до компонентів, які безпосередньо входять до загальної збірки виробу.

Під час визначення послідовності складання виконують аналіз розмірних ланцюгів виробу. У разі наявності кількох розмірних ланцюгів складання доцільно розпочинати з найбільш складних і відповідальних, що найбільше впливають на точність та працездатність конструкції. У межах кожного розмірного ланцюга завершальними встановлюють елементи з'єднання, які утворюють замикаючу ланку, причому така логіка повинна бути чітко зафіксована у технологічних схемах. Якщо розмірні ланцюги містять спільні ланки, першочергово виконують складання тієї ланки, яка визначає точність виробу найбільшою мірою; за рівнозначності вимог до точності перевагу надають більш складному ланцюгу.

На обґрунтування послідовності складання також впливають: функціональні взаємозв'язки елементів виробу, конструктивні особливості базових поверхонь, умови монтажу, доцільність установаження в кінці складання елементів, що є чутливими до пошкоджень, габаритно-масові характеристики

приєднаних компонентів, а також ступінь взаємозамінності деталей і складальних одиниць. Як правило, спочатку розробляють схему загального складання виробу, після чого формують схеми вузлового складання для окремих складальних одиниць. Варіанти схем складання обирають з урахуванням зручності виконання робіт і контролю якості, кількості виконавців, а також необхідності скорочення тривалості та собівартості складального процесу.

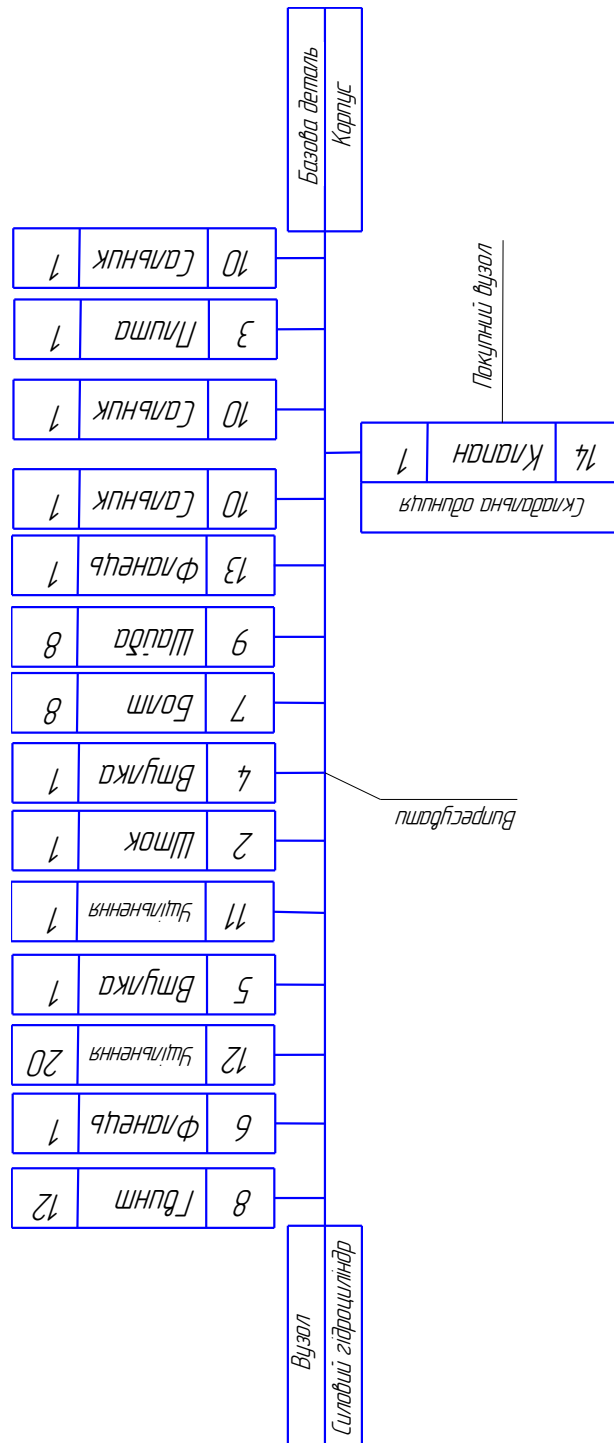


Рисунок 2.1 – Схема розбирання силового гідроциліндра

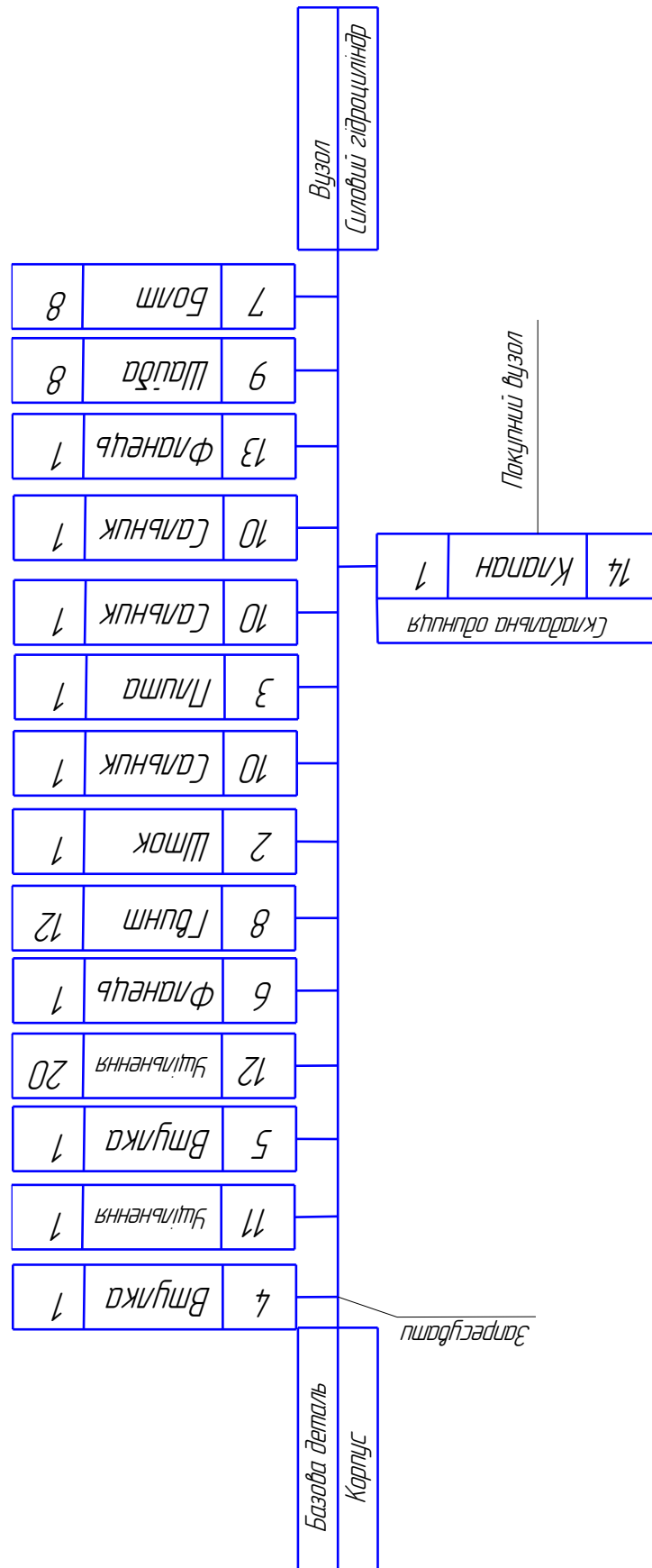


Рисунок 2.2 – Схема складання силового гідроциліндра

## 2.6 Складання виробу (вузла) та нормування складальних операцій

Розрахунок трудомісткості збирання силового гідроциліндра зводимо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Трудомісткість збирання силового гідроциліндра

Найменування і зміст операції	Норма часу, хв.	Література
1	2	3
005. Підготовча	15,6	[7], т. 5, с. 122
010. Слюсарна		
1. Запресувати направляючу втулку п.9	12,7	[7] табл.162, с.345
2. Встановити ущільнення п.8	2,15	[7] табл.153, с.337
3. Встановити притискну втулку п.7	0,92	[7] табл.151, с.335
4. Встановити пакет ущільнень п.13.	5,36	[7] табл.153, с.337
5. Встановити фланець п.12	0,85	[7] табл.151, с.335
6. Загвинтити гвинти п.11 в корпус силового гідроциліндра п.2	6,5	[7] табл.168, с.345
7. Встановити поршень п.2	3,21	[7] табл.151, с.335
8. Встановити сальник в корпус п.10	0,3	[7] табл.153, с.337
9. Встановити плиту на корпус п.3	1,05	[7] табл.151, с.335

Продовження таблиці 2.9

1	2	3
10.Встановити сальник п.10 в монтажну плиту	0,3	[7] табл.153, с.337
11.Встановити зворотній клапан п.7	1,05	[7] табл.151, с.335
12.Встановити сальник п.10 в притискний фланець	0,3	[7] табл.153, с.337
13.Встановити фланець п.6 на корпус клапана	1,05	
14.Помістити шайби п.5 на гвинти п.8	0,8	[7] табл.151, с.335
15.Загвинтити гвинти п.8 в корпус силового гідроциліндра п. 1	4,3	[7] табл.168, с.345
Топ,хв.	56,44	
$a_{обс} = 2\%$ від Топ	1,13	[12] табл.42, с.86
$a_{вон} = 3\%$ від Топ	1,69	[12] табл.42, с.86
Тшт,хв..	59,26	[12] табл.43, с.87
Тпз, хв.	13	
Тшк, хв.	60,95	
015.Контрольна	26,4	[7], т. 5, с. 122
020. Випробувальна	10,8	[7], т. 5, с. 122
Всього:	112,06	

## РОЗДІЛ 3

### СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Основи конструкції силових гідроциліндрів опускання

Для виготовлення нових силових гідроциліндрів за базу було прийнято типорозмірні параметри гідроциліндрів, раніше встановлених виробником лінії ламінування RAUTE, а саме силових гідроциліндрів плунжерного типу. Під час розроблення нових складальних одиниць було змінено геометричні параметри посадкових поверхонь гідроциліндрів, зокрема зони взаємодії «гільза – ущільнення». Одночасно виконано попередній розрахунок деформації корпусу гільзи гідроциліндра з метою визначення коректних посадок під ущільнювальні елементи, за яких зазор, що утворюється внаслідок деформації гільзи, залишався допустимим для обраного типу ущільнень.

Попередні експериментальні дослідження показали, що одним із основних чинників прискореного зносу ущільнень є надмірне збільшення зазору між поршнем і гільзою, зумовлене тепловою деформацією корпусу. У зв'язку з цим було прийнято рішення додатково перевірити шорсткість робочих поверхонь поршня силового гідроциліндра та внутрішніх напрямних гільзи за допомогою профілометра з метою оцінки їх відповідності вимогам, регламентованим виробником ущільнень. За результатами вимірювань встановлено істотні відхилення фактичної шорсткості основної поверхні поршня та внутрішніх напрямних від номінальних значень, що мало суттєвий вплив на формування вимог до технологічного процесу виготовлення нових гідроциліндрів.

Силовий гідроциліндр складається з основного корпусу (гільзи) 1, поршня 5, бронзових напрямних 2 і 3, між якими встановлено ущільнення шевронного типу 4. Бронзові напрямні фіксуються за допомогою фланцевого з'єднання 7 та герметизуються термостійкими ущільнювальними елементами. На зовнішній поверхні корпусу гідроциліндра передбачені спеціальні монтажні вуха, за допомогою яких силові гідроциліндри закріплюються на рамі ламінувального преса. До складу складальної одиниці також входять установчі фланці 6 і 9, а

також гідрозамок 8, за допомогою якого гідроциліндр під'єднується до загальної гідросистеми.

Хід поршня гідроциліндра становить 250 мм, номінальна швидкість його переміщення — 150 мм/с, а робочий тиск у силовому гідроциліндрі досягає 28,5 МПа. Конструктивну схему силового гідроциліндра наведено на рисунку 3.1.

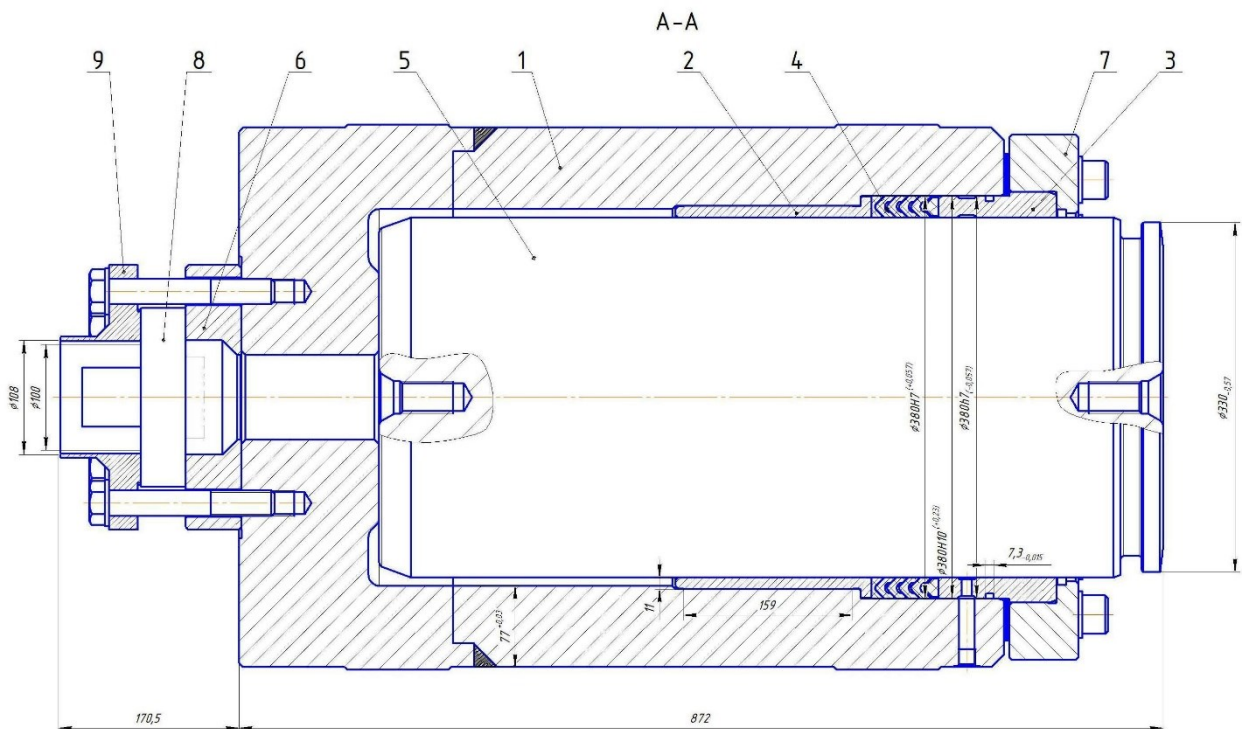


Рисунок 3.1 – Конструкція силового гідроциліндра

### 3.2 Розрахунок деформації корпусу гільзи в наслідок теплової дії на нього та розрахунок посадки під ущільнення

Вихідними даними для розрахунку є силові параметри гідроциліндра та геометричні параметри гільзи гідроциліндра а саме:

Найменший тиск:  $P_{\min} = 0$  МПа;

Найбільший тиск:  $P_{\max} = 28,5$  МПа;

Діаметр посадочної поверхні:  $d = 380$  мм;

Зовнішній діаметр гільзи:  $d_2 = 510$  мм

Для подальшого розрахунку також потрібно враховувати температурні режими в яких знаходиться гільза гідроциліндра:

Температура при вимірі ( контролі)  $t_{\text{ном}} = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$

Найменша температура гільзи при роботі  $t_{\text{min}} = 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$

Найбільша температура гільзи при роботі  $t_{\text{max}} = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 373,15 \text{ K}$

Модуль пружності при зсуві  $G_2 = 8,4 \times 10^{10} \text{ Па}$

Температурний коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha_2 = 11,7 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$

Щільність матеріалу  $\rho_2 = 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Коефіцієнт Пуассона матеріалу гільзи:

$$\nu^2 = \frac{E^2}{2 \times G^2} - 1 = 0,28. \quad (3.1)$$

Технологічні властивості сталі 30ХГСА.

Температура кування: початок  $1250 \text{ }^\circ\text{C}$  кінець  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  сиченням до  $50 \text{ мм}$  охолоджується на повітрі.

Зварюваність обмежена, Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, АрДС, ЕШС. Рекомендується підігрів і подальша термообробка, КТС без обмежень. Оброблюється різанням в горячекатаному стані при НВ 207....217;

$\sigma_B = 710 \text{ МПа};$

$k_{\text{вТВ}} = 0,85; k_{\text{вД}} = 0,75.$

Розрахунок здійснимо по літературі [1].

Визначимо зміни розмірів гільзи при зміні температури.

Зміна діаметра посадочної поверхні гільзи при зміні температури розраховується із залежності (3.2):

$$\delta_t = d_2 \times \alpha_2 (t_D - t_{\text{ном}}) \quad (3.2)$$

де  $d_2$  – діаметр гільзи ;

$\alpha_2$  - температурний коефіцієнт лінійного розширення;

$t_{\text{ном}}$  - температура гільзи при вимірюванні;

$t_0$  – температурний показник режиму нагрівання ( $t_{max}, t_{min}$ ).

Зміна розміру посадочної поверхні гільзи при зміні температури від номінальної до найменшої робочої ( $t_{min}$ ):

$$\delta_t = 380000 \times 11,7 \times 10^{-6} (273,15 - 293,15) = -88,92 \text{ мкм}$$

Зміна розміру посадочної поверхні гільзи зміні температури від номінальної до найбільшої робочої ( $t_{max}$ ).

$$\delta_{t2} = 380000 \times 11,7 \times 10^{-6} (373,15 - 293,15) = 355,68 \text{ мкм}$$

Визначення розмірів гільзи при зміні тиску в порожнині гідроциліндра. Розподіляють радіальних напружень в гільзі впливає із такої залежності:

$$\sigma_{r\max} = \frac{P_{\max} \times d^2}{d_2^2 - d^2} - \frac{P_{\max} \times d^2 \times d_2^2}{(d_2^2 - d^2) \times d_2^2} \quad (3.3)$$

де  $P_{\max}$  - найбільший тиск в гідроциліндрі;

$d$  - діаметр посадочної поверхні гільзи під ущільнення ;

$d_2$  - зовнішній діаметр гільзи ;

$d_2$  – діаметр гільзи ( $d, d_2$ ).

Радіальні напруження на внутрішній поверхні гільзи ( $d$ ) :

$$\sigma_{r\max} = \frac{28,5 \times 380^2}{510^2 - 380^2} - \frac{28,5 \times 380^2 \times 510^2}{(510^2 - 380^2) \times 380^2} = -28,5 \text{ МПа}$$

Радіальні напруження на зовнішній поверхні гільзи ( $d_2$ ):

$$\sigma_{r2\max} = \frac{28,5 \times 380^2}{510^2 - 380^2} - \frac{28,5 \times 380^2 \times 510^2}{(510^2 - 380^2) \times 510^2} = 0 \text{ МПа}$$

Графік залежності радіальних напружень на внутрішній поверхні гільзи зображено на рисунку 3.2.

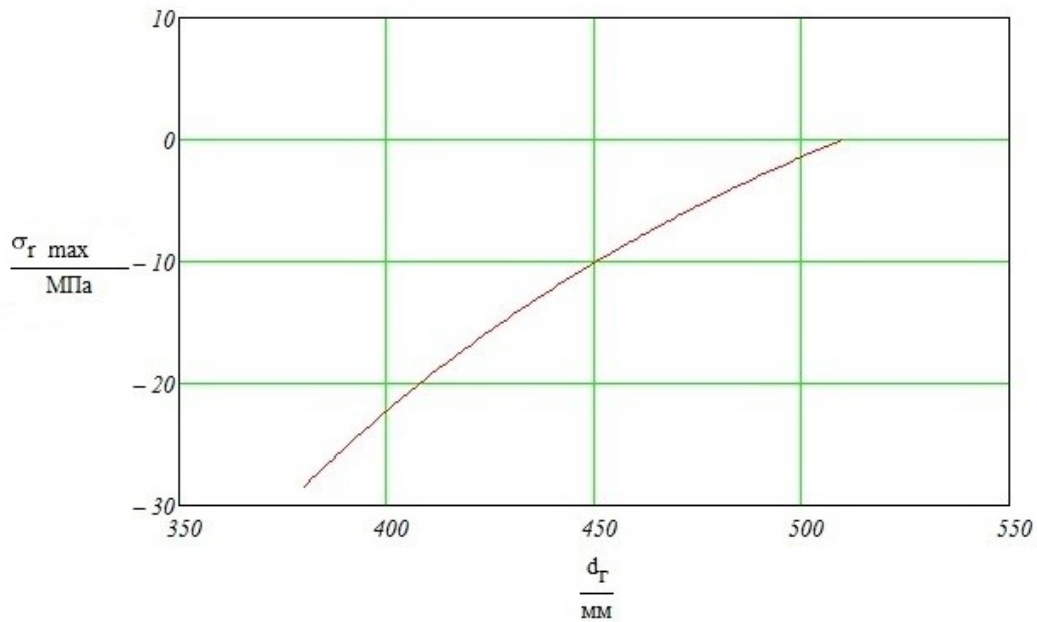


Рисунок 3.2 – Залежність радіальних напружень від діаметра гільзи

Розподілення тангенціальних напружень в гільзі у гідроциліндрі визначаються згідно формули (3.4):

$$\sigma_{\theta \max} = \frac{P_{\max} \times d^2}{d_2^2 - d^2} + \frac{P_{\max} \times d^2 \times d_2^2}{(d_2^2 - d^2) \times d_2^2} \quad (3.4)$$

де  $P_{\max}$  - найбільший тиск в гідроциліндрі;

$d$  - діаметр посадочної поверхні гільзи під ущільнення ;

$d_2$  - зовнішній діаметр гільзи ;

$d_c$  – діаметр гільзи ( $d, d_2$ ).

Тангенціальні напруження на внутрішній поверхні гільзи( $d$ ):

$$\sigma_{\theta \max} = \frac{28,5 \times 380^2}{510^2 - 380^2} + \frac{28,5 \times 380^2 \times 510^2}{(510^2 - 380^2) \times 380^2} = 99,639 \text{ МПа}$$

Тангенціальні напруження ( $d_2$ ) :

$$\sigma_{\theta 2\max} = \frac{28,5 \times 380^2}{510^2 - 380^2} + \frac{28,5 \times 380^2 \times 510^2}{(510^2 - 380^2) \times 510^2} = 71,139 \text{ МПа}$$

Графік залежності радіальних напружень на внутрішній поверхні гільзи зображено на рисунку 3.3.

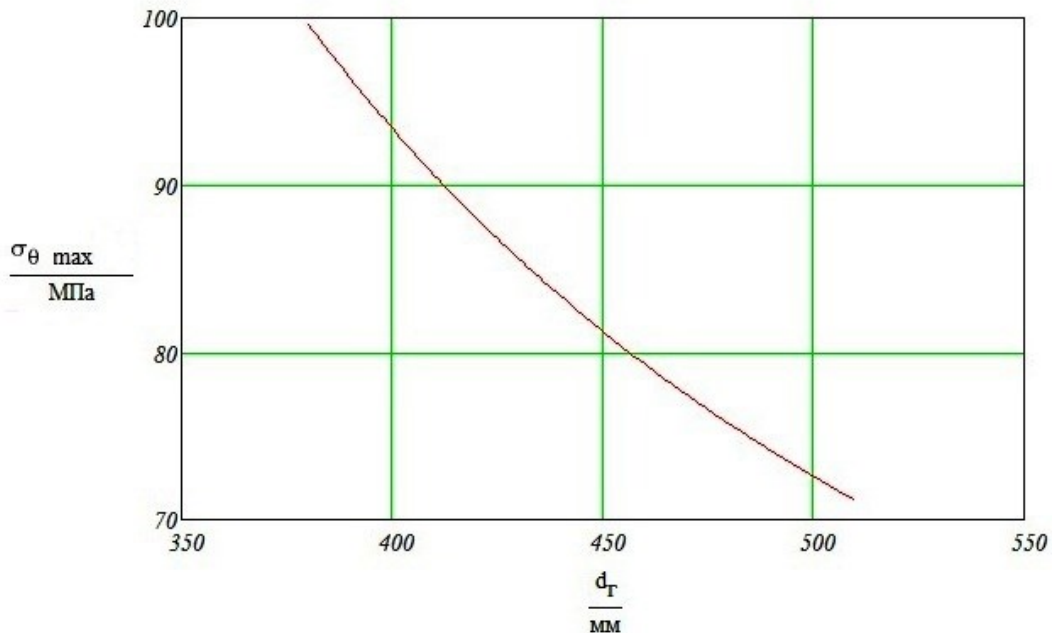


Рисунок 3.3 – Залежність тангенціальних напружень від діаметра гільзи

Розподілення еквівалентних напружень в гільзі при найбільшому тиску в гідроциліндрі визначається із такої залежності:

$$\sigma_{e\max} = \sigma_{\theta\max} - \sigma_{r\max} \quad (3.5)$$

де  $\sigma_{r\max}$  - радіальні напруження в гільзі, МПа;

$\sigma_{\theta\max}$  - тангенціальні напруження в гільзі, МПа.

Еквівалентне напруження на внутрішній (посадочній) поверхні гільзи ( $d$ ):

$$\sigma_{e\max} = 99,639 - (-28,5) = 128,139 \text{ МПа}$$

Еквівалентне напруження на зовнішній поверхні гільзи ( $d_2$ ):

$$\sigma_{e2\max} = 71,139 - 0 = 71,139 \text{ МПа}$$

Графік залежності радіальних напружень на внутрішній поверхні гільзи зображено на рисунку 3.4.

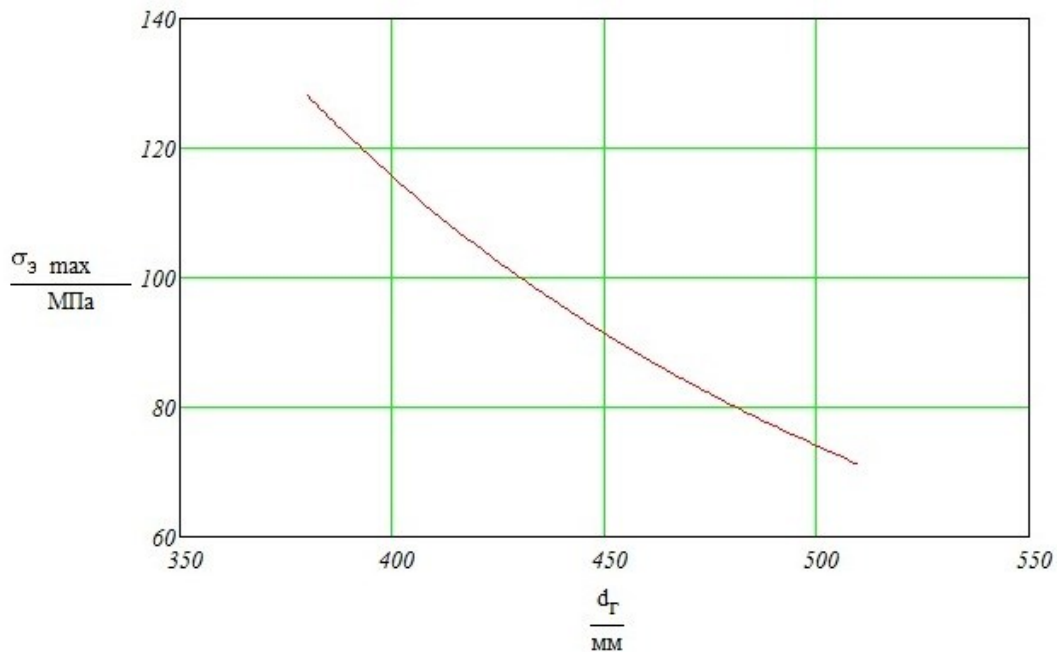


Рисунок 3.4 – Залежність тангенціальних напружень від діаметра гільзи

Умова жорсткості виконана. Бо еквівалентні напруження менші межі текучості матеріалу деталі  $\sigma_m=490$  МПа.

Приймаємо поле допуску посадочної поверхні по Н6.

Верхнє відхилення розміру посадочної поверхні:

$$ES = TD + EI \quad (3.6)$$

де  $TD$  – допуск розміру поверхні гільзи,  $TD = 36$  мкм;

$EI$  – нижнє відхилення розміру посадочної поверхні,  $EI = 0$  мкм.

$$ES = 36 + 0 = 36 \text{ мкм}$$

Найменший розмір посадочної поверхні гільзи при зборці і контролі:

$$D_{\text{min}} = d + EI \quad (3.7)$$

де  $d$  – внутрішній діаметр гільзи, мм;

ЕІ – нижнє відхилення розміру посадочної поверхні, мкм.

$$D_{min}=380+0=380 \text{ мм.}$$

Найбільший розмір посадочної поверхні гільзи при збиранні і контролі:

$$D_{max}=d+ES . \quad (3.8)$$

$$D_{max}=380+0,036=380,036.$$

Зміна розміру посадочної поверхні при найбільшому тиску в гідроциліндрі визначається за формулою (3.9):

$$\delta_{max} = \frac{D_{max} \times (\sigma_{\theta max} - \nu_2 \times \sigma_{r max})}{E_2} \quad (3.9)$$

де  $D_{max}$  – найбільший розмір посадочної, мкм;

$\sigma_{\theta max}$  – тангенціальні напруження на внутрішній поверхні, МПа;

$\sigma_{r max}$  - радіальні напруження на внутрішній поверхні, МПа;

$E_2$  – модуль нормальної пружності матеріалу, МПа;

$\nu_2$  - коефіцієнт Пуансона.

$$\delta_{max} = \frac{380036 \times (99,639 - 0,28 \times (-28,5))}{215000} = 190,21662 \text{ мкм.}$$

Найбільший розмір посадочної поверхні під ущільнення при найбільшому тиску в гідроциліндрі визначається згідно формули (3.10):

$$d_{max}=D_{max}+\delta_{max} +\delta_{t2} \quad (3.10)$$

де  $D_{max}$  – найбільший діаметр посадочної поверхні гільзи при зборці та контролі;

$\delta_{max}$  – величина зміни розміру посадочної поверхні під ущільнення при найбільшому тиску в гідроциліндрі;

$\delta_{t2}$  – зміна розміру посадочної поверхні при зміні температури від номінальної до найбільшої робочої.

$$d_{max} = 380,036 + 0,19021662 + 0,35568 = 380,58 \text{ мм.}$$

Аналізуємо можливий зазор при максимальній деформації гільзи згідно графіка виробника ущільнень «Економус –Україна.SKF» (рис. 3.5.)

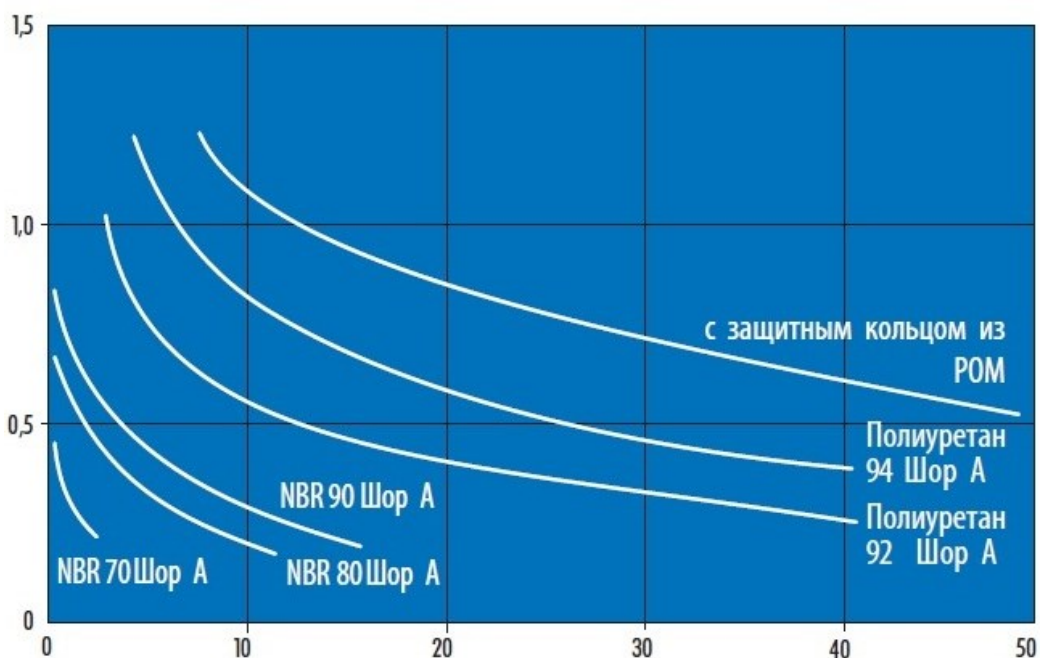


Рисунок 3.5 – Графік залежності зазору посадочного місця гільзи від матеріалу ущільнень

У процесі аналізу демонтованих гідроциліндрів було встановлено наявність суттєвих відхилень фактичних розмірів посадкових поверхонь під ущільнювальні елементи від заданих допусків, а також їх невідповідність нормативним вимогам і рекомендаціям виробника ущільнень. З огляду на це було прийнято рішення про виготовлення нових силових гідроциліндрів із дотриманням розрахованих допусків, оптимізованих для застосування

ущільнень шевронного типу з опорним кільцем із поліацеталю марки POM RO202.

Аналіз експлуатаційних характеристик зазначеного типу ущільнень, зокрема за графічними залежностями, свідчить про їх повну придатність до роботи в гідроциліндрах, у яких має місце значна деформація посадкових поверхонь під ущільнення. Зокрема, дані ущільнення зберігають працездатність за величини деформації, що перевищує 0,5 мм, при номінальному робочому тиску гідросистеми до 30 МПа, що підтверджує доцільність їх застосування в умовах підвищених термомеханічних навантажень.

### 3.3 Основи конструкції гідроциліндрів піднімання траверси преса ламінування ДСП

Гідроциліндри піднімання служать для піднімання траверси преса після процесу ламінування. Тут в спроектованому пресі їх є 4. Основний недолік гідроциліндрів – відсутність синхронної роботи. Для ліквідації цього спроектовано гідроциліндри із гідравлічною системою синхронізації.

За основу для проектування взято стару наявну конструкцію гідроциліндрів. На рисунку 3.6 зображено нову конструкцію гідроциліндрів піднімання.

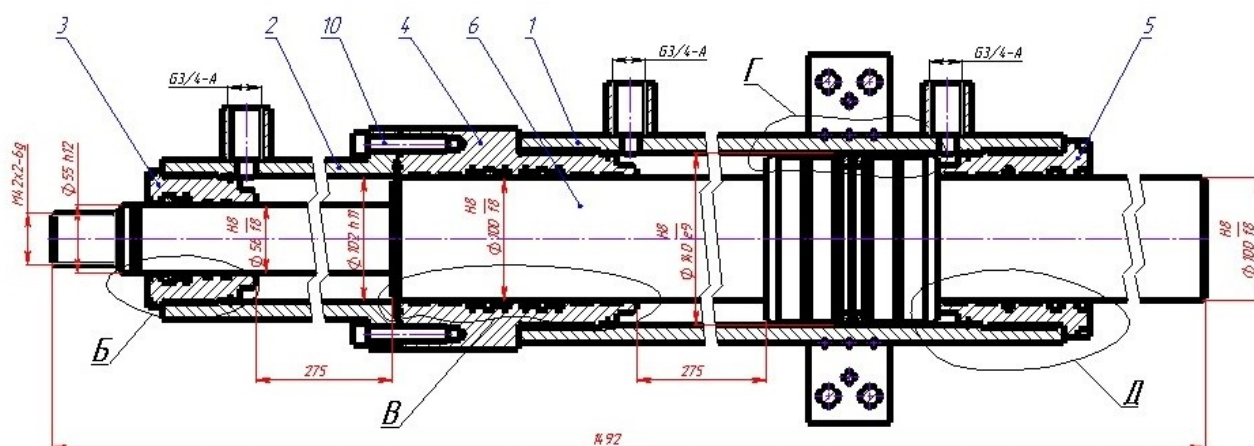


Рисунок 3.6 – Гідроциліндр піднімання траверси преса

У новій конструкції силових гідроциліндрів передбачено встановлення додаткової синхронізуючої гільзи 2, яка через систему клапанів гідравлічно з'єднана з робочою порожниною основного гідроциліндра. Зазначена гільза закріплюється до кришки 4 за допомогою дванадцяти гвинтів M12, що забезпечує необхідну жорсткість та надійність з'єднання.

У гідроциліндрі застосовано двоступінчастий шток із монолітним поршнем, який має робочий хід 275 мм. Ущільнювальні елементи, необхідні для забезпечення коректної та герметичної роботи штока, розміщені в кришках 4, 5 і 3. Для запобігання перекосу штока та зменшення інтенсивності зношування ущільнень у кришках передбачено встановлення напрямних елементів із поліуретану, що сприяє стабільності руху та підвищенню довговічності гідроциліндра.

З метою забезпечення геометричної точності та узгодженості складальної одиниці гідроциліндр було спроектовано в системі SolidWorks. Перевірку коректності конструкції та відсутності взаємних перетинів і конфліктів деталей у складанні виконано за допомогою інструменту «Перевірка інтерференції». Усі виявлені недоліки складальної одиниці були усунені, після чого проведено повторний аналіз конструкції. Результати перевірки нової конструкції гідроциліндра наведено на рисунку 3.7.

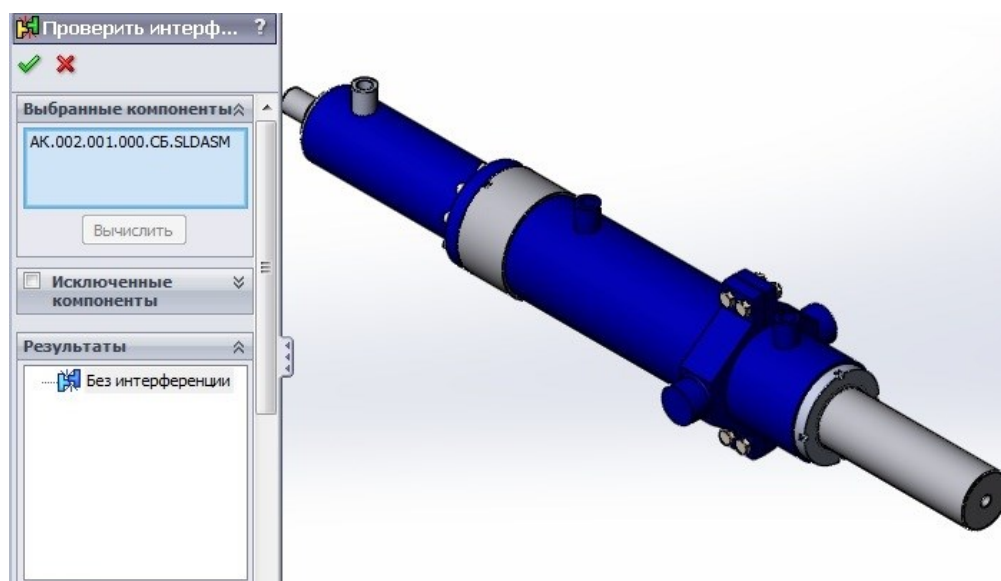


Рисунок 3.7 – Аналіз конфлікуючих деталей складальної одиниці

Після створення нової конструкції гідроциліндрів виникла необхідність в проектуванні нової конструкції кріплень. Тут взято кріплення старого зразка. Нова конструкція кріплення гідроциліндра зображена на рисунку 3.8.

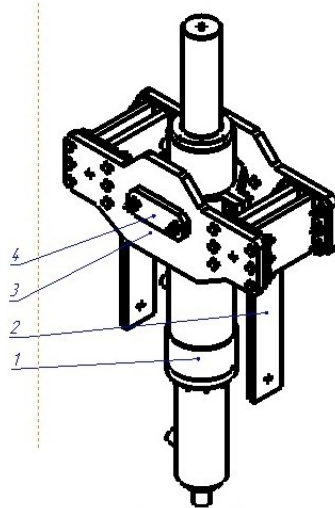
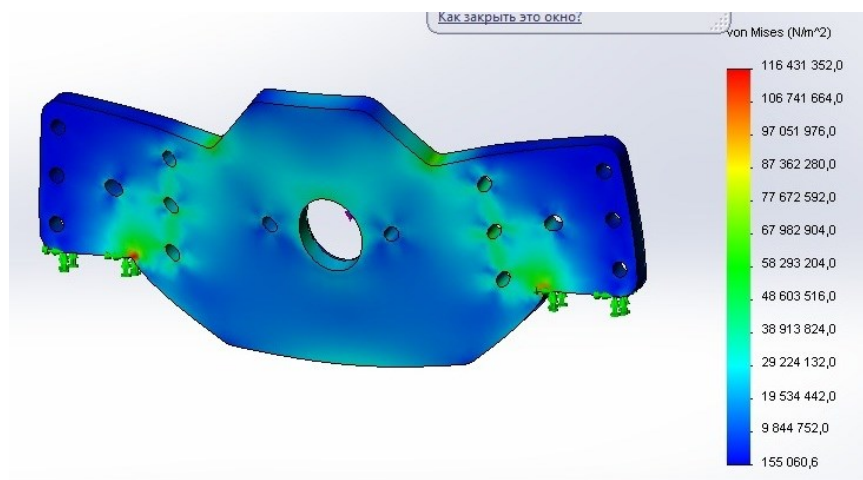


Рисунок 3.8 – Конструкція кріплення гідроциліндра синхронізації

Кріплення складається із двох кронштейнів 2, які несуть балочний пластину 3 та фіксуючі кришки гідроциліндрів 4. Для перевірки стійкості нового кріплення гідроциліндрів виконано статичний аналіз цієї пластини в SolidWorks Simulation. Модель була навантажена силою та безпосередньо діє на посадочне місце кріплення гідроциліндра. Результати дослідження зображено на рисунку 3.9.



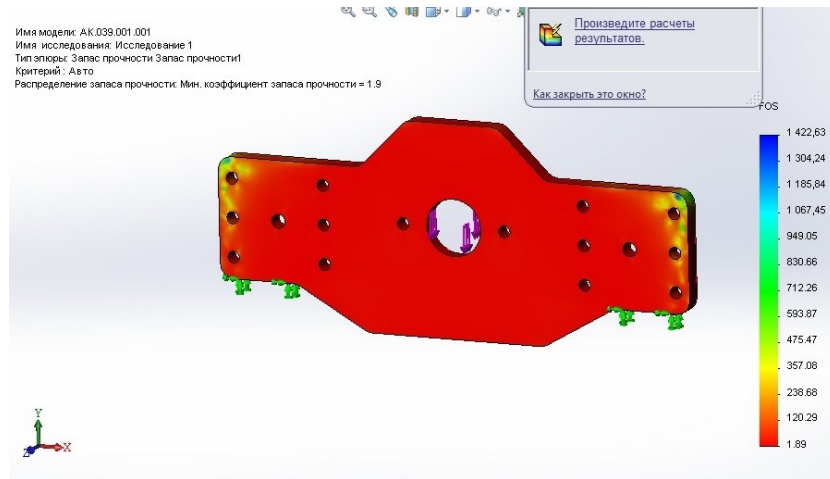


Рисунок 3.9 – Статичний аналіз деталі

За результатами аналізу зробимо висновок – кріплення гідроциліндрів відповідає експлуатаційним вимогам та має запас міцності 1,9.

## РОЗДІЛ 4

### КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 4.1 Опис конструкції пристосування

Розточна борштанга належить до засобів технології машинобудування та призначена для обробки глибоких отворів у жорстких довгомірних деталях. Її застосування є доцільним у випадках, коли необхідно забезпечити підвищену точність обробки та стабільність процесу різання за значного вильоту інструмента.

Конструктивно розточна борштанга складається з корпусу 1 з осьовим отвором, у якому розміщено механізм зниження вібрацій 2, різьбової головки 3 з ріжучою пластиною 4. Механізм зниження вібрацій включає шпильку 5 з отвором для подачі змащувально-охолоджувальної рідини та різьбами на кінцях для встановлення упорного кільця 6, кільце з жорсткої гуми 7, задню різьбову втулку 8 і циліндр 9 з осьовою кільцевою порожниною. Усередині цієї порожнини розміщені металеві стержні 10, виготовлені з матеріалу, густина якого перевищує густину матеріалу корпусу, та зорієнтовані вздовж осі циліндра. Вільний простір між стержнями заповнений мікропорошком 11. Торцеві поверхні циліндра герметично обмежені упорними втулками 12, що контактують з гумовими подушками 13, виконаними з м'якої гуми. Механізм зниження вібрацій зафіксований у корпусі за допомогою базової втулки 14, до якої кріпиться різьбова головка.

Застосування такої розточної оправки дозволяє підвищити точність і стійкість операції розточування за рахунок зменшення амплітуди вібрацій, а також збільшити продуктивність праці у 1,4-1,7 рази завдяки використанню прогресивних швидкісних режимів різання та подачі.

Недоліком даного пристрою є розміщення резонатора комплексних коливань у неробочій частині борштанги, що не забезпечує повної стабілізації високочастотних коливань. Це зумовлено наявністю проміжного нелінійного зв'язку та непостійністю процесу стружкоутворення, викликаною варіацією припуску на обробку.

Перед початком роботи розточна борштанга встановлюється у металорізальний верстат, наприклад у револьверну головку токарного оброблювального центру. Після цього налаштовуються режими різання: глибина різання, подача на один оберт заготовки та частота її обертання. Далі в борштангу подається змащувально-охолоджувальна рідина і розпочинається процес розточування отвору. У ході обробки на інструмент діє сила опору різанню, яка спричиняє деформацію та згин борштанги, а також одночасний згин і поворот металевих стержнів, густина матеріалу яких перевищує густину матеріалу корпусу. За рахунок цього зростає коефіцієнт опору пружній деформації, що призводить до зменшення амплітуди вібрацій борштанги та наближення її положення до площини різання. У результаті змінюється власна частота коливань інструмента і відбувається стабілізація вібраційного процесу в перехідному та резонансному режимах роботи.

Поглинання та розсіювання енергії коливального процесу здійснюється у таких парах тертя: стержні 10 з матеріалу підвищеної густини – мікропорошок 11, різьбова головка 3 – базова втулка 14. Додаткове зниження амплітуди вібрацій забезпечується деформацією кільця з жорсткої гуми та гумових подушок з м'якої гуми.

Корпус розточної борштанги виготовлений зі сталі 40Х з густиною  $7,8 \text{ г/см}^3$ , тоді як стержні, розміщені в кільцевій порожнині механізму зниження вібрацій, виконані з матеріалу густиною  $19,3 \text{ г/см}^3$ . Випробування борштанги проводилися під час розточування отвору діаметром 356 мм на довжину 590 мм у заготовці зі сталі 30ХГСА. Результати експериментів показали, що технологічні характеристики запропонованої розточної оправки під час обробки отворів у заготовках із легованої конструкційної сталі приблизно вдвічі перевищують показники оправки без механізму зниження вібрацій.

## 4.2 Розрахунок різця на міцність і жорсткість

Державка різця характеризується формою і розмірами поперечного січення та твердістю. Форма січення прямокутна, квадратна або кругла.

Для різців доцільно застосовувати державки прямокутного січення з відношенням висоти державки до її ширини  $H : B = 1,6$  для чистових і півчистових різців і  $H : B = 1.25$  для чорнових різців.

Державки квадратного січення краще опираються деформації і рекомендуються для револьверних і розточних різців.

Розміри поперечного січення державки із умови рівності дійсного моменту згинання і максимального моменту:

$$M_{зг} = M'_{зг}, \quad (4.1)$$

де  $M_{зг}$  - дійсний момент згинання,  $H \times m$ ;

$M'_{зг}$  - максимальний момент згинання,  $H \times m$ .

В свою чергу :

$$M_{зг} = P_z \times L, \quad (4.2)$$

$$M_{зг} = \delta_{\sigma} \times W, \quad (4.3)$$

де  $L$  - виліт різця, мм;

$\delta_{\sigma}$  - допустиме напруження при згинанні матеріалу державки, МПа (для незагартованих вуглецевих конструкційних сталей  $\delta_{\sigma} = 200-250$  МПа, для державок із вуглецевої сталі що піддаються термічній обробці допустиме напруження приймається в 2 рази вище).

$W$  - момент опору в січенні різця,  $mm^3$ .

Момент опору прямокутного січення:

$$W = \frac{B \times H^2}{6}, \quad (4.4)$$

де В і Н – відповідно ширина і висота державки різця в небезпечному розрізі, мм

На основі описаного отримаємо:

$$P_z \times L = \frac{B \times H^2}{6} \times \delta_e, \quad (4.5)$$

де В і Н – відповідно ширина і висота державки різця в небезпечному розрізі, мм;

L – виліт різця, мм;

$P_z$  - головна складова сили різання, Н.

Звідки:

$$B \times H^2 = \frac{6 \times P_z \times L}{\delta_e}. \quad (4.6)$$

Визначимо ширину та висоту державки різця:

$$B = 3 \sqrt[3]{\frac{6 \times P_z \times L}{2.56 \times \delta_e}}, \quad (4.7)$$

Приведений розрахунок державки на плоский згин виконаний з врахуванням тільки одної сили  $P_z$ . Для всіх трьох складових сил різання  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ . викликає в державці складний опір, який в 2 рази вище при плоскому згині.

Здійснимо розрахунок міцності та жорсткості державки різця. Враховуючи що найбільше зусилля на державку різця відбувається при внутрішньому чорновому розточуванні отвору  $\varnothing 356$ .

Розраховуємо головну складову сили різання для даного переходу:

$$P_z = 10 \times C_p \times t^x \times S^y \times V^n \times K_p, \quad (4.8)$$

де  $C_p, x, y, n$  - коефіцієнт і показники степені для визначення сили різання,

$$C_p = 300, x = 1,0, y = 0,75, n = -0,15 \text{ (с. 273, табл. 22)}$$

$t$  – глибина різання,

$D$  – діаметр оброблюваної поверхні,

$S$  – подача;

$K_p$  – поправочний коефіцієнт на силу різання:

$$K_p = K_{mp} \times K_{\varphi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{rp}, \quad (4.9)$$

де  $K_{\varphi p}$  - коефіцієнт, який враховує головний кут в плані різця;

$$K_{\varphi p} = 0,89 \text{ (с. 275, табл. 23);}$$

$K_{\gamma p}$  – коефіцієнт що враховує передній кут;

$$K_{\gamma p} = 1,0 \text{ (с. 275, табл. 23);}$$

$K_{\lambda p}$  – коефіцієнт, який враховує кут похилу ріжучої кромки;

$$K_{\lambda p} = 1,0 \text{ (с. 275, табл. 23);}$$

$K_{rp}$  – коефіцієнт, який враховує радіус при вершині різця;

$$K_{rp} = 1,0 \text{ (с. 275, табл. 23);}$$

$K_{mp}$  – коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки (с. 264, табл.9):

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_s}{750} \right)^n, \quad (4.10)$$

де  $\sigma_s$  - межа міцності, МПа.

$$K_{mp} = \left( \frac{655}{750} \right)^{0,75} = 0,9$$

$$K_p = 0,9 \times 0,89 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,8$$

$$P_z = 10 \times 300 \times 8,8^1 \times 0,87^{0,75} \times 124,99^{-0,15} \times 0,8 = 10137,8 \text{ Н.}$$

Експериментально приймаємо державку квадратного січення під дією навантаження.  $H = 50 \text{ мм}$ ,  $B = 50 \text{ мм}$

Проведемо перевірочний розрахунок враховуючи що виліт різця  $L = 620 \text{ мм}$ :

Державка є загартованою та її допустиме напруження складає  $\delta_3 = 500 \text{ МПа}$  при твердості матеріалу  $38 \dots 42 \text{ HRC}_3$ . Підставимо значення в формулу (4.5) та отримаємо:

$$10137,8 \times 620 = \frac{50 \times 50^2}{6} \times 500$$

З умови рівності:

$$M_{зг} = M'_{зг},$$

$$6285436 = 10146655$$

Розміри державки повністю задовольняють режим роботи різця на даному етапі обробки. Максимальний момент який може витримати державка різця перевищує допустимий.

Визначимо мінімальний розмір січення державки борштанги використавши формулу (4.7), та враховуючи що  $B = H$ .

$$B = \sqrt[3]{\frac{6 \times 10137,8 \times 620}{2,56 \times 500}} = 30 \text{ мм}$$

Приймаємо державку  $40 \times 40 \text{ мм}$  та механізм зниження вібрацій із стандартного розробленого ряду.

Здійснимо перевірку за допомогою модуля SolidWorks Simulation. Враховуючи виліт інструменту  $P_z = 10137,8 \text{ Н}$ . Створюємо дослід статичної симуляції в «SolidWorks Simulation».

1. Створюємо симулювання кріплення в різцетримачі використовуємо команду «Зафіксована геометрія, нерухомий шарнір»;
2. Задаємо навантаження отримане в аналітичних розрахунках та вказуємо напрямок його дії та місця його розсіювання.
3. Створюємо сітку кінцевих елементів.
4. Здійснюємо перевірку сітки кінцевих елементів переглядаючи правильність та рівномірність форми кінцевих елементів.
5. Запускаємо дослід.

Матеріал дослідної моделі є сталь 1.7045 DIN 17212 що є аналогом сталі 40X ДСТУ 4543-91 з межею текучості  $\delta_{\sigma} = 785593984 \text{ Н/мм}^2$ .

На рисунку 4.2 зображено принцип закріплення та спосіб навантаження дослідної моделі.

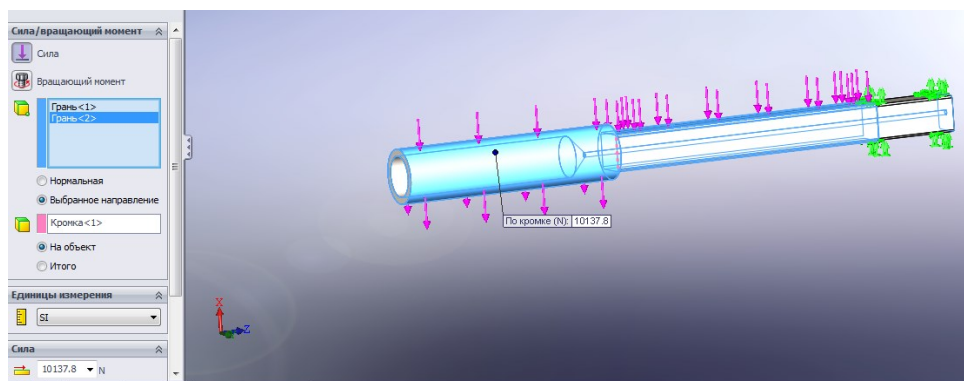


Рисунок 4.2 – Принцип закріплення та навантаження

На рисунку 4.3 зображено принцип побудови сітки кінцевих елементів.

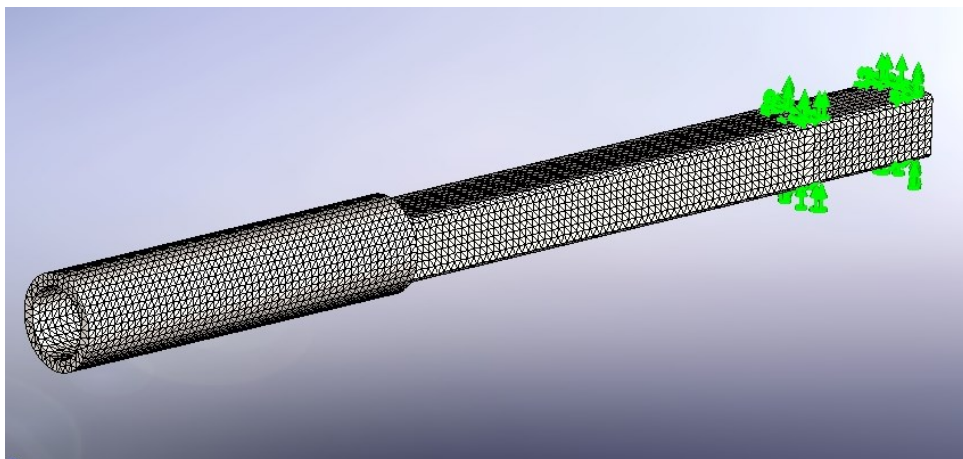


Рисунок 4.3 – Сітка кінцевих елементів

Після проведеної симуляції отримуємо графіки напружень за шкалою Мізеса та аналізуємо його. Графік напружень зображено на рисунку 4.4

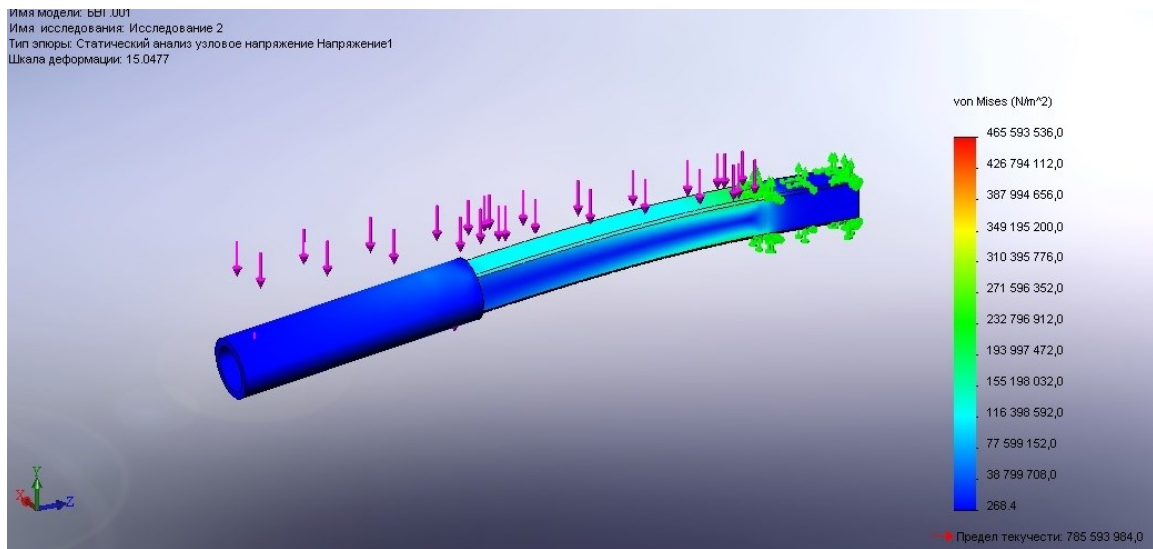


Рисунок 4.4 – Шкала деформації

Тут державка борштанги найбільше деформується в зоні різання а найбільше навантаження виникає в зоні контакту з різдетримачем. Відповідно деформація, яка виникла в деталі, не є критичною і не перевищує границю текучості матеріалу. Деталь є придатною для роботи і може використовуватись для виготовлення інструменту «борштанга».

Після проведення аналізу напружень виконується аналіз перевірки запасу міцності (рис. 4.5).

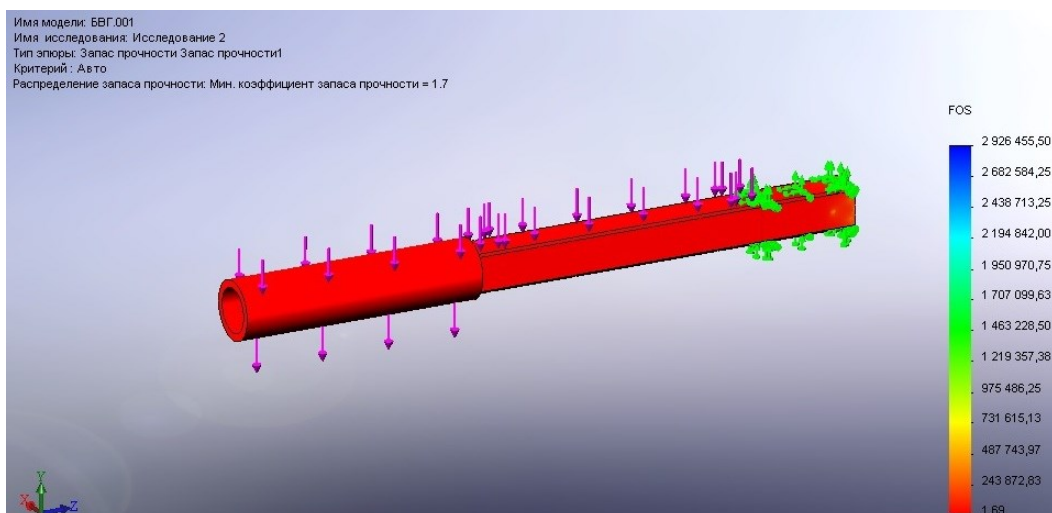


Рисунок 4.5 – Шкала запасу міцності

Запас міцності борштанги складає 1,7 одиниць. Порівняємо його із розрахунковим:

$$FOS = \frac{M_{32}^i}{M_{32}}, \quad (4.11)$$

де  $M_{32}$  - дійсний момент згинання, Н×м;

$M_{32}^i$  – максимальний момент згинання, Н×м.

$$FOS = \frac{10146655}{6285436} = 1,61$$

Порівняємо з розрахунками в програмі SolidWorks Simulation:

$$1,7 \approx 1.61$$

Програмні розрахунки є точними та наближені за своїм результатом до аналітичних.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання даної кваліфікаційної роботи магістра було розроблено нові конструкції гідроциліндрів преса ламінування деревостружкової плити.

Загальна частина містить детальний опис процесу виробництва ламінованої деревостружкової плити та описано основні недоліки лінії, приведено описання гідравлічної схеми ламінувального преса та визначені основні завдання.

Технологічна частина містить обґрунтовані технічні рішення щодо виготовлення деталі з найбільш доцільним і ефективним використанням технологічного устаткування, маршрут механічної обробки деталі з використанням універсального обладнання і пристосувань, які значно розширюють його технологічні можливості і підвищують продуктивність, а також описано технологію складання та розбирання вузла.

Спеціальна частина містить розрахунки та обґрунтування нових конструкцій гідроциліндрів в SolidWorks Simulation.

Конструкторська частина кваліфікаційної роботи містить опис конструкції спеціального інструменту «Борштанга» та проведений розрахунок основи її конструкції аналітичним і програмним методом в SolidWorks Simulation.

Слід відмітити, що підбираючи обладнання і інше технологічне оснащення, необхідно досягати максимального розширення універсальності модернізації вузла та виготовлення деталі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. POVSTIANOI O., MARKINA L., DENYSIUK V., LAPCHENKO Y., SATSYK V., PYLYPETS M. AUTOMATED SMART HUMANOID ROBOT ARM ON THE ARDUINO PLATFORM V. 129, Issue 4. 2025, P.43-53. <https://doi.org/10.7862/tiam.2025.4.4>
2. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л.Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
3. Інноваційні підходи в підготовці магістрів з прикладної механіки : навч. посіб. / Т. Є. Божко, Б. П. Валецький, Л. М. Самчук, Т. І. Четвержук. Луцьк : Вежа-Друк, 2024. – 324 с.
4. Методичні рекомендації до написання кваліфікаційної роботи за ступенем вищої освіти «магістр» : метод. рекомендації для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Прикладна механіка», спец. 131 Прикладна механіка, галузі знань 13 Механічна інженерія денної та заоч. форм навч. / уклад.: Т. І. Четвержук, Р. М. Полінкевич. – Луцьк: ЛНТУ, 2024. 48 с.
5. Дмитрієв Д.О. Кінетостатичний аналіз каркасних компонок верстатів з механізмами паралельної структури // Науковий журнал "Технологічні комплекси" №2, 2020. С. 40-45.
6. Борозенець Г.М., Павлов В.М., Семак І. В. Деталі машин : Навчальний посібник. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 220 с.
7. Головня В.Д. САПР технологічних процесів : конспект лекцій / В.Д. Головня. – Житомир : Житомирська політехніка, 2019. 200 с.
8. Morenko A., Morenko O., Dmytrotsa O., Poruchynsky A., Korzhyk O. Changes in electroencephalogram (EEG) power during subdominant (left) hand finger movements in females with different alpha rhythm characteristics. Health Problems of

Civilization. 2020. Vol 14, No 1. P. 63–69. 15. <https://doi.org/10.5114/hpc.2020.93295>  
[Web of Science/](#)

9. Korzhyk O. V., Dmutrotsa O. R., Poruchynskyi A. I., Morenko A. H. Event-related potentials during contralateral switching over motor programs in humans. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. Vol. 11, No 1. P. 110–115. <https://doi.org/10.15421/022016> Scopus (Q4), Web of Science.

10. Obertyukh, R., Slabkyi A., Polishchuk, L., Povstianoi, O., Kumargazhanova, S., & Satymbekov, M. (2022). DYNAMIC AND MATHEMATICAL MODELS OF THE HYDROIMPULSIVE VIBRO-CUTTING DEVICE WITH A PRESSURE PULSE GENERATOR BULT INTO THE RING SPRING. *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 12(3), 54–58.

11. Halchuk T. N., Povstyanoy O. Yu., Bembenek M., Redko R. G., Chetverzhuk T. I., Polinkevych R. M. (2023). Impact of technological system's characteristics on the machining accuracy of bearing rings. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 10(1), pp. A22-A30, doi:10.21272/jes.2023.10(1). a4.

12. Zaleta O. M., Povstyanoy O. Yu., Ribeiro L. F., Redko R. G., Bozhko T. Ye., Chetverzhuk T. I. (2023). Automation of optimization synthesis for modular technological equipment. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 10(1), pp. A6-A14, doi: 10.21272/jes.2023.10(1).a2.

13. Povstyanoy O., MacMillan A. (2021). Mechatronic system's permeable materials with controlled porosity. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 8(1), pp. C45–C49, doi: 10.21272/jes.2021.8(1).c DOI: 10.21272/jes.2021.8(1).

14. Редько Р.Г. Дослідження сили різання при розточуванні гвинтових нежорстких деталей машин / Р.Г. Редько, О.Ю.Повстяной, Р.М. Полінкевич, Т.І. Четвержук // *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Том 1, №20, 2023. С.26-32.

15. Повстяной О.Ю., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Четвержук Т.І. Технологія п'ятикоординатної обробки на фрезерних верстатах з ЧПУ // *ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ: Матеріали ХХІІ Міжнародної науково-технічної конференції (м.Краматорськ - Тернопіль, ДДМА, 28-30 травня 2024 р.)*. С.154

# ДОДАТКИ