

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

*Розроблення технології виготовлення
корпуса 100.15-017 з дослідженням параметрів витих
гнучких валів змінної жорсткості*

Виконав (ла): студент (ка) VI курсу, групи МІМ-61
спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Бутинський М.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Комар Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Дячун А.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«___» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Бутинському Михайлу Степановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення
корпуса 100.15-017 з дослідженням параметрів витих гнучких
валів змінної жорсткості

Керівник роботи Комар Роман Васильович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «16» листопада 2023 року № 4/7-1058

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи креслення деталі, технічні умови на виготовлення;
річна програма випуску $N = 50000$ шт.; базовий технологічний процес виготовлення;
базова література по об'єкту дослідження

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналітична частина. Науково-дослідна частина.
Технологічно-конструкторська частина.
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Результати наукових досліджень (2 арк. А1).
Складальні креслення пристроїв для механічної обробки (3 арк. А1).
Схеми інструментальних налагоджень на операції механічної обробки (1 арк. А1).

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|-----------------------------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| <i>Охорона праці</i> | <i>Ткаченко І.Г., доцент</i> | | |
| <i>Безпека в надзв. ситуаціях</i> | <i>Стадник І.Я., професор</i> | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 17 листопада 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1 | <i>Аналітична частина</i> | | |
| 2 | <i>Науково-дослідна частина</i> | | |
| 3 | <i>Технологічно-конструкторська частина</i> | | |
| 4 | <i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i> | | |
| 5 | <i>Додатки</i> | | |
| 6 | <i>Графічна частина</i> | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

(підпис)

Бутинський М.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Комар Р.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

| | |
|--|--|
| Завдання на кваліфікаційну роботу | |
| Реферат | |
| Вступ | |
| 1 Аналітична частина | |
| 1.1 Аналіз інформації за тематикою роботи | |
| 1.2 Способи усунення досліджених проблем | |
| 1.3 Завдання досліджень і проєктування | |
| 2 Науково-дослідна частина | |
| 2.1 Характеристика дослідного об'єкту | |
| 2.2 Результати досліджень | |
| 2.3 Узагальнення результатів досліджень | |
| 3 Технологічно-конструкторська частина | |
| 3.1 Загальний аналіз об'єкту виробництва | |
| 3.2 Розроблення маршруту і технології обробки деталі | |
| 3.3 Встановлення параметрів обробки і нормування | |
| 3.4 Вибір і розрахунок оснастки | |
| 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | |
| Висновки | |
| Перелік посилань | |
| Додатки | |

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: «Розроблення технології виготовлення корпусу 100.15-017 з дослідженням параметрів витих гнучких валів змінної жорсткості», Бутинський Михайло Степанович.

Актуальність. Сучасні конструкції витих гнучких валів характеризуються достатньою гнучкістю, міцністю та можуть використовуватися для передачі крутного моменту там, де пряме з'єднання неможливе. Але всі вони мають постійну жорсткість, яка задана у процесі розробки та виготовлення і не є адаптивною в залежності від зміни обертового моменту. Така властивість гнучких валів є фактично суттєвим недоліком, адже виникають моменти коли відбувається різка зміна навантаження, що призводить до поломки.

Мета і завдання. Кваліфікаційна робота мала на меті встановити існуючі проблеми експлуатації витих пружних валів і запропонувати способи їх усунення, а також розробити технологію виробництва корпусної деталі. У процесі досліджень необхідно вирішити завдання щодо можливості конструктивного забезпечення запобігання руйнування витих гнучких валів при раптових надлишкових навантаженнях. На нашу думку цього можна досягнути застосуванням технологічно-конструктивного рішення де безпосередньо гнучкий вал буде мати адаптивну змінну жорсткість в залежності від величини обертового моменту та критичних навантажень.

Практичне значення. Розроблена методика дослідження і розрахунку витих гнучких валів із змінною жорсткістю, встановлено оптимальні значення їх лінійної довжини; розроблено маршрут виготовлення корпусу 100.15-017.

Апробація. Проблематика за даними дослідженнями розкривалась у тезах XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», ТНТУ, (2023).

ВСТУП

Фахівці в галузі технології машинобудування знаходяться на одній із найвідповідальніших ділянок усього науково-технічного прогресу. При цьому їх завдання полягає в тому, щоб у результаті докорінного вдосконалення технології обробки різних деталей забезпечити технічне та організаційне переозброєння всіх галузей машинобудування і на цій основі суттєво підвищити продуктивність праці.

Технологія машинобудування має низку особливостей, що відрізняють її з інших спеціальних наук. Зокрема вона є прикладною наукою, викликаною до життя потребами промисловості, що розвивається. Будучи прикладною наукою, технологія машинобудування разом з тим має значну теоретичну основу, що включає в себе: вчення про типізацію технологічних процесів і групову обробку, про жорсткість технологічної системи, про точність процесів обробки, теорію базування заготовок, теорію розсіювання розмірів оброблюваних заготовок, технологічного оснащення та обладнання, про впливи механічної обробки на стан металу поверхневих шарів заготовок, експлуатаційні властивості деталей машин, про припуски на обробку та інші теоретичні розробки.

Технологія машинобудування є комплексною інженерною та науковою дисципліною, що тісно пов'язана і широко використовує розробки багатьох інших дисциплін. Дана галузь є однією з наймолодших наук, що швидко розвивається разом із виникненням нової техніки та вдосконаленням промислового виробництва.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз інформації за тематикою роботи

При з'єднанні приводних валів, які експлуатуються в умовах кутових зміщень для компенсації цих зміщень, зменшення радіальних навантажень на опорні підшипникові вузли, а також зменшення динамічних навантажень та коливань застосовують пружні муфти різноманітних конструкцій. Такий технологічний підхід є економічно обґрунтованим, оскільки більшість конструкцій пружних муфт є відносно не складними і не дорогими у виробництві, характеризуються високими експлуатаційними характеристиками. Проте їх застосування не завжди є можливим зважаючи на можливі складні криволінійні ділянки приводів у обмеженому просторі. Такі ділянки можуть мати відносно велику довжину, а з'єднувальні пружні муфти мають певні конструктивні обмеження по довжині. У таких випадках виникають проблеми не тільки під час розміщення таких з'єднувальних пристроїв, а й під час їх технічного обслуговування та контролю під час експлуатації у плані обмеженого доступу до відповідальних вузлів. Відповідно виникає потреба зміни конструктивних розмірів таких криволінійних трас, застосування додаткових перехідних чи компенсуючих вузлів, що у результаті спричиняє збільшення габаритів приводу, ускладнення його конструкції. Все це зменшує загальну технологічність виробу, призводить до додаткових експлуатаційних затрат. Тому для запобігання вище вказаним проблемам застосовують гнучкі пружні вали. Технологічно вони виконуються у вигляді двох фланців, які з'єднанні між собою еластичним пружним елементом, який може бути гумовим, поліуретановим чи металевим. Гумові чи поліуретанові пружні елементи є найдешевшими і простими у виготовленні, проте зважаючи на умови експлуатації, а для продуктів галузі машинобудування часто це значні перепади температур і великі крутильні навантаження обертовими моментами, то таке виконання не завжди є надійним і економічно доцільним. Також на

криволінійних трасах значної довжини гумові і поліуретанові вали потребують додаткової підтримки для запобігання скручуванню. І зважаючи на природне старіння гуми такі приводи є недовговічними і ненадійними. Також метал, у порівнянні із гумою і поліуретаном, є набагато міцнішим. Відповідно у пріоритеті є металеві пружні елементи у вигляді пластин, пружин, тросів, сифонів та різноманітних комбінацій цих конструктивних елементів, які не мають вище вказаних недоліків. Розглянемо окремі конструкції гнучких валів із металевими пружними елементами, які викликають певний інтерес своїм конструктивним виконанням [1].

Найпростіша конструкція прототипу гнучкого валу складається із двох фланців, які з'єднані між собою пружиною із круглим січенням витка. Фіксація пружини забезпечується її загнутими кінцями, які вставляються у відповідні обох фланців. Провертанню циліндричної пружини запобігають штифти на фланцях (рис. 1.1).

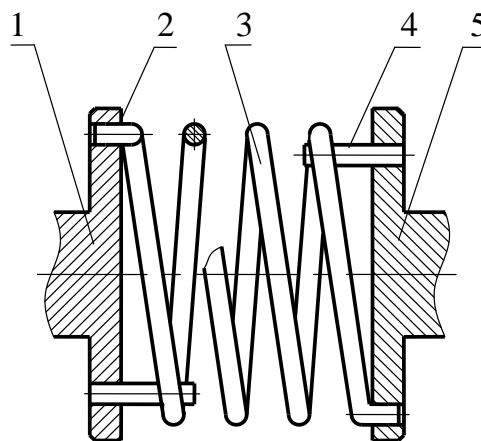


Рисунок 1.1 – Гнучкий вал із циліндричною пружиною:

1, 5 – фланці; 2 – отвори для фіксації пружини; 3 – пружний елемент;
4 – штифти

Аналогічну конструкцію має еластичний вал (рис. 1.2), а проте він характеризується кращою здатністю компенсувати кутові зміщення, у порівнянні з попереднім пристроєм, за рахунок виконання пружинної робочої частини у вигляді двох зрізаних конусів.

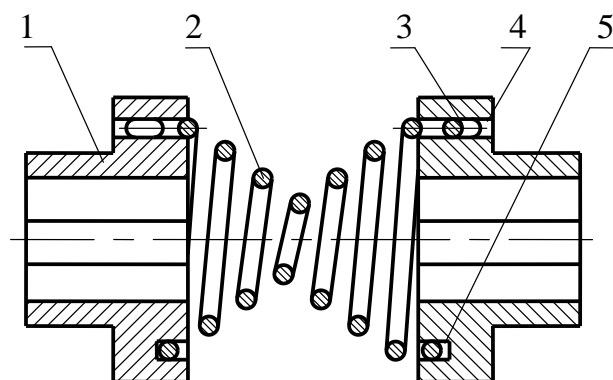


Рисунок 1.2 – Гнучкий вал з пружиною у формі зрізаних конусів:
 1, 4 – фланці; 2 – пружний елемент; 3 – отвори для фіксації пружини;
 5 – установочні канавки

Щодо характеристик вище наведених конструкцій то очевидно, що можливі певні обмеження щодо навантажувальної здатності. Їх можна усунути за рахунок збільшення поперечного перерізу витка пружини, а це знизить компенсуючі якості пристрою та спричинить збільшення початкової проектної ваги такого вала.

Цікавим є конструктивне рішення де спіраль прямокутного січення розміщена у півкорпусі типу стакану [1]. Фіксація шнека у корпусному стакані здійснюється за рахунок сил тертя між поверхнями шнека і півкорпуса. Зусилля тертя забезпечується підтиском регулювальної гайки. Така конструкція здатна витримувати значні навантаження, але має обмежену компенсаційну здатність.

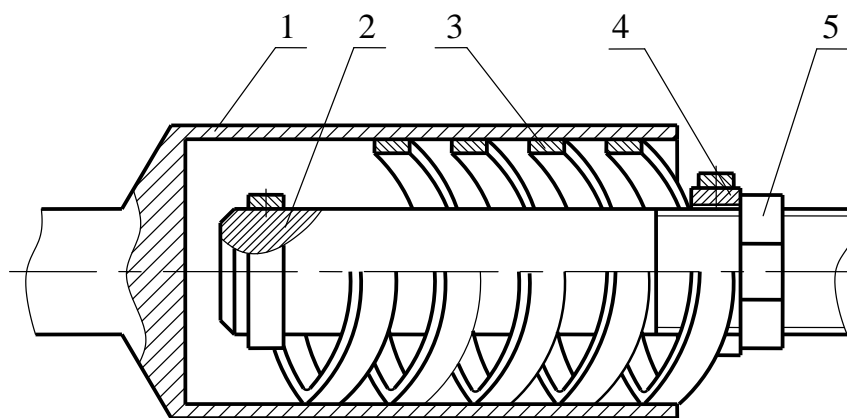


Рисунок 1.3 – Шнековий гнучкий вал закритого типу:
 1 – корпус-стакан; 2 – вал; 3 – шнек; 4 – кільце; 5 – регулювальна гайка

Класичний гнучкий вал – це вал, що має велику жорсткість на кручення і малу на вигин; призначений для передачі обертання та крутного моменту. Дротовий гнучкий вал – дуже легко згинається в будь-якому напрямку, складається з сердечника і декількох шарів дротів, по кілька дротів у шарі з почерговими напрямками навивання (рисунок 1.4). Гнучкий вал на кінцях забезпечений арматурою (патронами) і покритий оболонкою (гнучким рукавом або бронею) для захисту від пошкодження та утримання мастила. Розрізняють Гнучкий вал правого та лівого обертання, так як зовнішній шар дроту повинен працювати на закручування. Дротові гнучкі вали нормалізовані та широко використовуються для силових передач.

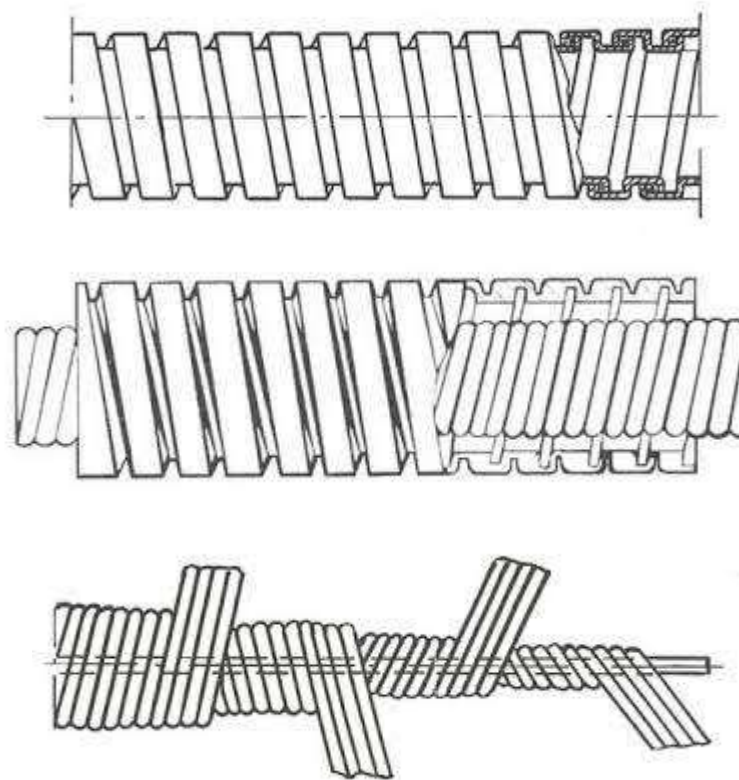


Рисунок 1.4 – Загальна будова класичного гнучкого валу

Гнучкі вали Фіама (Італія) пропонують просте, ефективне та економічне рішення для передачі обертового руху, потужності та крутного моменту [2, 3].

Вони характеризуються високою гнучкістю, міцністю, довговічністю та ефективністю та можуть використовуватися постійно на високих швидкостях для: компенсування зміщення елементів приводу; передачі крутного моменту

там, де пряме з'єднання неможливе; заміни незахищених, складних або небезпечних механізмів; гасіння ударів та вібрацій; зменшення загальної ваги механізмів; обхід можливих перешкод на шляху приводу.

Гнучкі вали класів AF-M, FAP-M, TR, ASR, GR – це універсальні моделі (рисунок 1.5), які також можуть поставлятися з різними типами захисних кожухів залежно від типу застосування. Обмеження застосування по довжині – до 400 мм, постійна жорсткість.



Рисунок 1.5 – Гнучкі вали серій AF-M, FAP-M, TR, ASR, GR від Фіама

Заслужують на увагу конструкції, які мають достатньо високі компенсуючо-навантажувальні характеристики за рахунок форми поперечного перерізу витка пружини, саме січення у формі квадрата чи прямокутника. Це гнучкі вали, а точніше муфти від «Ленце» (Німеччина) [4]. Це серії «Сімпламініфлекс» і «Сімплафлекс» (рис.1.6 і 1.7). Цільове призначення конструкції серії «Сімпламініфлекс» – передавання обмеженого обертового моменту і задовільні компенсуючі властивості. Причиною є конструктивне виконання пружного елемента у вигляді однієї пружини з витками поперечного січення.

Сімплафлекс – це суцільнометалевий виріб, що не потребує обслуговування. Пакет пружин робить його надзвичайно гнучким для оптимальної компенсації перекосів валів. Завдяки своїй компактній і обертально-симетричній структурі ці пристрої також можна використовувати в системах, що працюють на високих швидкостях обертання.

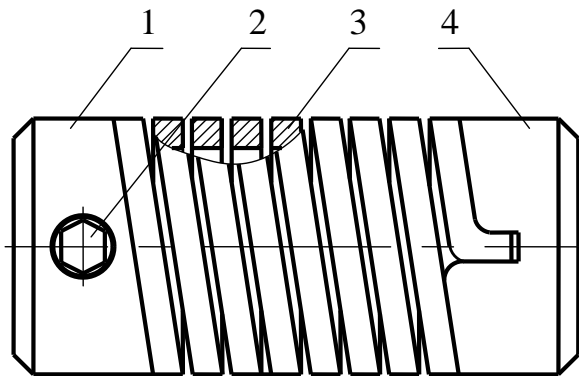


Рисунок 1.6 – Пружний вал-муфта «Сімпла-мініфлекс»:
1, 4 – фланці; 2 – фіксуючий гвинт; 3 – пружина прямокутного
січення витка

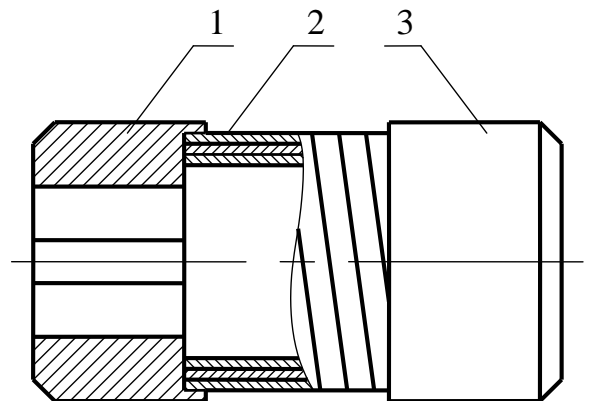


Рисунок 1.7 – Пружний вал-муфта «Сімплафлекс»:
1, 3 – фланці; 2 – комбінований гвинтовий елемент

Гнучкий пружний елемент виконаний у вигляді набору гвинтових пружин прямокутного поперечного січення, які розміщені концентрично одна в одній без зазору між пакетами пружин. Кріплення пружного елемента до фланців – запресування або пайка. Для застосування у передачах із значними моментами – пружини з'єднують із корпусом вала втулками і фланцями. Максимальна довжина такого вала – до 350 мм.

Такі гнучкі вали рекомендовано до використання при температурах від -40 °С до +100 °С, до +300 °С у версії з нержавіючої сталі (паяної версії). Номінальний крутний момент – до 900 Нм, незалежно від напрямку обертання.

Кут провертання обох півкорпусів один відносно іншого – 3...6° у залежності від лінійної довжини вала. Максимально компенсовуване зміщення з'єднаних валів становить 3 ÷ 6% від діаметра гнучкого вала.

Аналогічні конструкції та технічні характеристики мають пристрої Бауманфлекс (Швейцарія), серії MM, ZG/LM, MF Models (рис. 1.8) [5, 6, 7].



Рисунок 1.8 – Гнучкі вали серії MM, ZG/LM і MF Models від Бауманфлекс

Всі вище наведені конструкції характеризуються достатньою гнучкістю, міцністю, довговічністю та ефективністю та можуть використовуватися постійно на високих швидкостях для: компенсування зміщення елементів приводу; передачі крутного моменту там, де пряме з'єднання неможливе; заміни незахищених, складних або небезпечних механізмів; гасіння ударів та вібрацій; зменшення загальної ваги механізмів; обходу можливих перешкод на шляху приводу. Але всі вони мають постійну жорсткість, яка задана у процесі розробки та виготовлення і не є адаптивною в залежності від зміни обертового моменту. Така властивість гнучких валів є фактично суттєвим недоліком, адже виникають моменти коли відбувається різка зміна навантаження, що сприймає вал. Запас міцності конструкції гнучкого вала у більшості випадків визначається міцністю гнучкого елемента. Оскільки гнучкі вали, які виготовляються промислово є нормалізованими [8] і розраховані на певні навантаження, то такі фарс-мажорні підвищення навантажень призводять до поломки гнучкого вала постійної жорсткості.

1.2 Способи усунення досліджених проблем

Для запобігання руйнування гнучких валів при раптових надлишкових навантаженнях необхідно передбачити додатковий запас міцності конструкції без втрати компенсаційних властивостей, збільшення проектної маси пристрою і суттєвого ускладнення конструкції. На нашу думку цього можна досягнути застосуванням технологічно-конструктивного рішення коли безпосередньо гнучкий вал буде мати адаптивну змінну жорсткість в залежності від величини обертового моменту та критичних навантажень. Причому така властивість не буде погіршувати його проектну компенсаційну здатність.

На практиці можна застосувати комбінований пружний елемент за аналогом пристрою Сімплафлекс, але із зазором між пружинами. Це

фактично втілено у відповідній конструкції пружно-компенсуючої муфти [9]. Проте деякі конструктивні допрацювання усунуть недолік даного пристрою, а саме адаптивну жорсткість пружного елемента при передачі обертового моменту лише в одному напрямку. Пропонується використання у пружному елементі ще однієї пружини прямокутного січення із оберненим напрямком навівання до центральної пружини. Тобто рекомендується застосовувати пакет із трьох пружин прямокутного січення, яке забезпечить більшу площу контакту між їх поверхнями і унеможливлення защемлення витків сусідніх пружин. Причому із обов'язковим гарантованим початковим зазором між пружинами, тобто три пружини розміщені пакетом одна в одній за рахунок різних діаметрів і дві крайніх мають однакові напрям навівки, а внутрішня протилежний.

Наявність даного, навіть мінімального, між пружинного зазору у пакеті гнучкого вала дозволить підбирати жорсткість вала за характеристиками стандартних пружин. А у випадку підвищення навантаження до значення вищого ніж номінальний обертовий момент, фланці прокрутяться один відносно іншого на певний кут, що спричинить зміну діаметрів пружин. Наприклад, в залежності від напрямку обертання вала, за рахунок зміни діаметральних розмірів можуть контактувати зовнішня і центральна пружини. При оберненому напрямі обертання у контакт ввійдуть центральна і внутрішня пружини. Таке явище відбудеться внаслідок протилежних напрямів навівки сусідніх пружин. У результаті контакту пружин збільшиться жорсткість гнучкого вала, що звичайно спричинить додаткове навантаження на опорні вузли приводу, але буде запобігати руйнуванню гнучкого валу. У випадку короткочасних навантажень це цілком допустимо. Для більш складних випадків доцільно застосовувати на вході такого приводу запобіжні муфти будь-якого типу.

1.3 Завдання досліджень і проектування

На основі аналізу інформації за тематикою роботи та встановлення способів усунення встановлених проблем дослідження [10] поставлено наступні задачі даної кваліфікаційної роботи магістра:

- проаналізувати особливості існуючих споріднених витих гнучких валів і на їх основі запропонувати раціональну конструкцію із змінною жорсткістю пружного елемента;

- вибрати і вдосконалити методологію розрахунку діаметральних розмірів пакету пружин пружного елемента валу із аналізом зміни їх лінійних і діаметральних характеристик;

- встановити вплив на основні параметри пружного елемента витого валу зі сторони обертового навантаження та сформулювати відповідні практичні рекомендації;

- проаналізувати технології виробництва корпусних деталей і на основі отриманих результатів розробити технологічний процес відповідно до специфіки конструкції і технічних вимог корпуса 100.15.-017;

- для підвищення технології виробництва вибрати раціональну заготовку, проробити її конструкцію з метою підвищення коефіцієнта використання матеріалів;

- для підвищення продуктивності механічного оброблення спроектувати відповідні пристосування для відповідальних технологічних операцій.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика дослідного об'єкту

У розділі 1.2 даної кваліфікаційної роботи описано способи усунення виявлених проблем витих гнучких валів. Відповідно для отримання властивості адаптивної змінної жорсткості, в залежності від величини обертового моменту та критичних навантажень, пропонується застосовувати пакет із трьох пружин прямокутного січення із обов'язковим початковим зазором між пружинами, тобто три пружини розміщені пакетом одна в одній за рахунок різних діаметрів і дві крайніх мають однаків напрям навивки, а внутрішня протилежний.

Принцип роботи такого пружного валу наступний. У випадку підвищення навантаження, до значення вищого ніж номінальний обертовий момент, фланці прокрутяться один відносно іншого на певний кут, що спричинить зміну діаметрів пружин. Наприклад, в залежності від напрямку обертання вала, за рахунок зміни діаметральних розмірів можуть контактувати зовнішня і центральна пружини. При оберненому напрямі обертання у контакт ввійдуть центральна і внутрішня пружини. Таке явище відбудеться внаслідок протилежних напрямів навивки сусідніх пружин. Відповідно таке конструктивне виконання забезпечить адаптивну змінну жорсткість витого пружного валу в залежності від умов навантаження. При номінальному навантаженні така конструкція, за рахунок гарантованого зазору між спіралями, буде забезпечувати компенсацію всіх видів неспіввісності, а також їх комбінації та передачу обертового руху.

Конструктивне виконання витого пружного валу згідно поданих пропозицій показано на рисунку 2.1. Вал складається із двох фланців-півкорпусів 1 і 5, які містять центральні отвори для встановлення на з'єднувані вали приводу (можливе виконання із шпонковим пазом, шліцевою поверхнею чи фіксацією болтом), також вони містять пази для встановлення пакету

пружин пружного елемента. Спіралі 2, 3, 4 розміщені одна в одній з умови почергового взаємно протилежного напрямку навивання. Фіксацію пружин доцільно проводити за рахунок клино-пазового з'єднання.

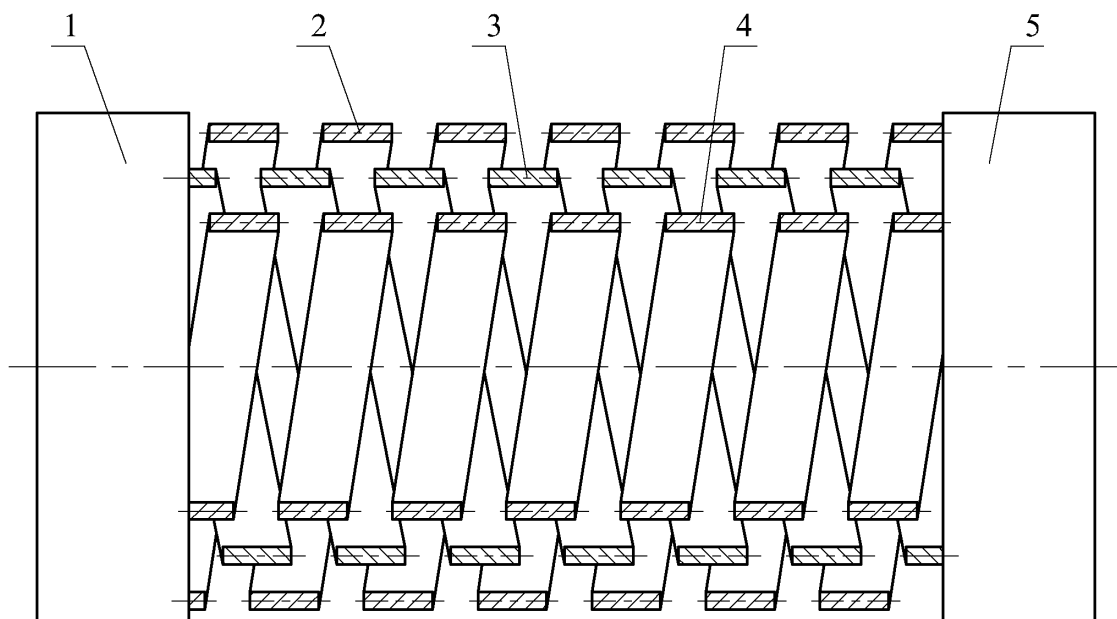


Рисунок 2.1 – Витий пружний вал із змінною жорсткістю:

1, 5 – фланець; 2, 3, 4 – виті циліндричні спіралі (пружини)

Якщо до кінців будь-якої незафіксованої з торців пружини чи циліндричної спіралі прикласти певне навантаження то така силова дія спричиняє зміну лінійної довжини пружини, кроку та діаметру. Всі ці зміни тісно пов'язані із кутом закручування пружини. Так як витий пружний вал має лінійне обмеження по торцях, за рахунок кріплення його фланців на відповідних валах приводу, то змінними величинами будуть тільки кут закручування вала і діаметральні розміри його пружин.

Конструктивною величиною, яка визначає адаптивну жорсткість пружного елемента, є зазор δ між його спіралями. Відповідно значення δ має суттєвий вплив на згинну і крутильну жорсткості витого вала. Також зміщення фланців один відносно одного на деякий кут закручування φ спричиняє зміну діаметрів пружин і коли значення $\delta = 0$ жорсткість вала значно зростає, що спричиняє додаткові навантаження на опорні вузли з'єднаних одиниць. Відповідно встановлення δ є важливим чинником розрахункової методики.

2.2 Результати досліджень

Обертний момент T у витку пружини має дві складові – згинний $T_{зг}$ і крутильний $T_{кр}$ моменти. Перша складова спричиняє зміну діаметральних розмірів, а друга – лінійних. Оскільки будь-яка конструкція пружного валу має обмеження по довжині, то визначальним фактором буде згинний момент $T_{зг}$. Відповідно у розрахунках доцільно задатися умовою $T_{зг} = T$.

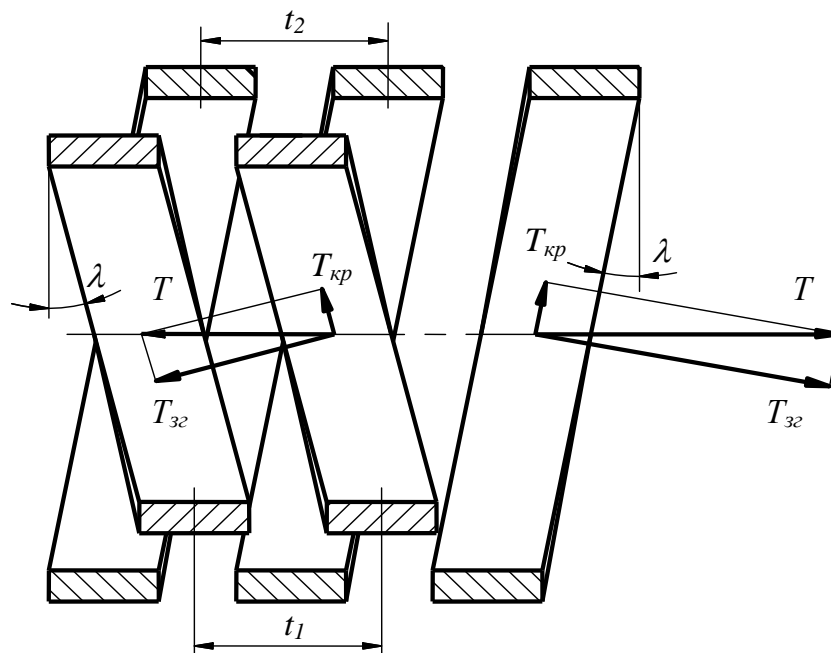


Рисунок 2.2. – Схематичне розподілення навантажень від обертального моменту у витках сусідніх пружин

При оптимальних режимах експлуатації діаметри пружин змінюються за рахунок пружних властивостей матеріалу, відповідно можливою деформацією поперечного січення витка під час розрахунків знехтуємо.

Розглянемо таку деформацію витка пружини витого вала при збільшенні її діаметральних розмірів (рис. 2.3) [11].

По колу довжина витка пружини

$$l_{01} = \frac{\pi d_{01}}{\cos \lambda}, \quad (2.1)$$

де d_{01} – середній діаметр пружини до зміни розмірів;
 λ – кут підйому пружини.

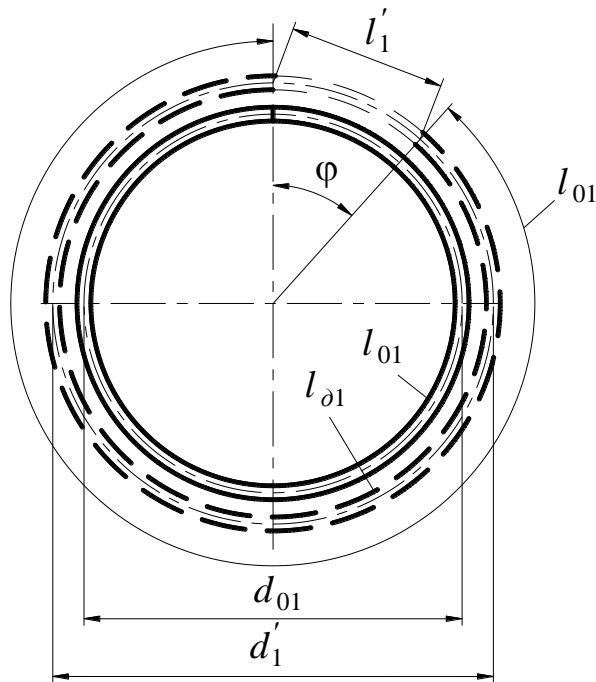


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема при збільшенні діаметрального розміру витків

Згідно схеми видно, що збільшення витка це певне значення l'_1 . Його зв'язок із кутом φ

$$l'_1 = \frac{\pi d'_1}{360 \cdot \cos \lambda} \varphi, \quad (2.2)$$

де d'_1 – середній діаметр пружини після зміни розмірів.

Умовна довжина витка після збільшення діаметру

$$l_{\partial 1} = l_{01} + l'_1 = \frac{\pi d_{01}}{\cos \lambda} + \frac{\pi d'_1}{360 \cdot \cos \lambda} \cdot \varphi. \quad (2.3)$$

Зв'язок між початковим і кінцевим діаметрами з урахуванням кута закручування вала

$$d'_1 = \frac{d_{01}}{1 - \frac{\varphi}{360}}. \quad (2.4)$$

Розглянемо випадок зменшення діаметральних розмірів витка (рис. 2.4).

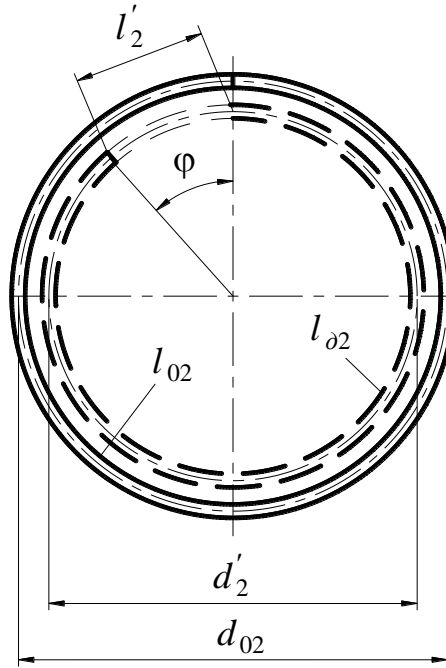


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема при зменшенні діаметрального розміру витків

Умовна довжина витка після збільшення діаметру

$$l_{\partial 2} = l_{02} - l'_2 = \frac{\pi d_{02}}{\cos \lambda} - \frac{\pi d'_2}{360 \cdot \cos \lambda} \varphi. \quad (2.5)$$

Зв'язок між початковим і кінцевим діаметрами з урахуванням кута закручування вала

$$d'_2 = \frac{d_{02}}{1 + \frac{\varphi}{360}}. \quad (2.6)$$

Значення величини можливої зміни зазору (рис. 2.5)

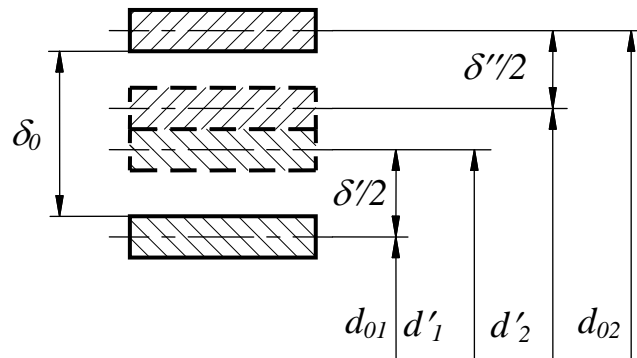


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема величини ймовірної зміни зазору між сусідніми пружинами

При збільшенні діаметру

$$\delta' = d'_1 - d_{01} = d_{01} \left(\frac{1}{1 - \frac{\varphi}{360}} - 1 \right). \quad (2.7)$$

При зменшенні діаметру

$$\delta'' = d_{02} - d'_2 = d_{02} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\varphi}{360}} \right). \quad (2.8)$$

Загальна величина зазору між сусідніми пружинами у пакеті

$$\delta_{заг} = \frac{\delta' + \delta''}{2}. \quad (2.9)$$

З урахуванням діаметральних розмірів пружин і кута закручування вала

$$\delta_{заг} = 0,5 \cdot \left[d_{01} \left(\frac{1}{1 - \frac{\varphi}{360}} - 1 \right) + d_{02} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\varphi}{360}} \right) \right]. \quad (2.10)$$

Фактичний зазор δ між сусідніми пружинами

$$\delta = \delta_0 - 0,5 \cdot \left[d_{01} \left(\frac{1}{1 - \frac{\varphi}{360}} - 1 \right) + d_{02} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\varphi}{360}} \right) \right]. \quad (2.11)$$

При збільшенні діаметральних розмірів початковий діаметр

$$d_{01} = d'_1 \left(1 - \frac{\varphi}{360} \right). \quad (2.12)$$

З урахуванням модуля пружності, осьового моменту інерції січення витка, кількості витків і кута закручування і обертового моменту початковий діаметр пружини

$$d_{01} = \frac{\varphi EI_{o1}}{T \pi i_{c1}}. \quad (2.13)$$

Відповідно з урахуванням вище вказаних параметрів післядеформаційний діаметр пружини

$$d'_1 = \frac{\varphi EI_{o1}}{T \pi i_{c1} \left(1 - \frac{\varphi}{360} \right)}. \quad (2.14)$$

З урахуванням прямокутного січення витка, кроку пружини і її лінійної довжини

$$d'_1 = \frac{\varphi E b_1 h_1^3 t_{c1}}{12T\pi L_{c1} \left(1 - \frac{\varphi}{360}\right)}. \quad (2.15)$$

Для зменшення діаметральних розмірів

$$d'_2 = \frac{\varphi E b_2 h_2^3 t_{c2}}{12T\pi L_{c2} \left(1 + \frac{\varphi}{360}\right)}. \quad (2.16)$$

Конструктивно значення зміни зазору між пружинами (рис. 2.5)

$$\delta_{3M} = \frac{d'_2 - d'_1}{2}, \quad (2.17)$$

а з врахуванням кута закручування вала та конструктивно-силових параметрів вИТОГО вала

$$\delta_{3M} = 0,5 \cdot \left[\frac{\varphi E}{12T\pi} \left(\frac{b_1 h_1^3 t_{c1}}{L_{c1} \left(1 - \frac{\varphi}{360}\right)} - \frac{b_2 h_2^3 t_{c2}}{L_{c2} \left(1 + \frac{\varphi}{360}\right)} \right) \right]. \quad (2.18)$$

Звідки номінальний обертовий момент, який сприймається сусідніми пружинами

$$T = \frac{\varphi E b h^3}{24\pi\delta_{nom}} \left(\frac{t_{c1}}{L_{c1} \left(1 - \frac{\varphi}{360}\right)} - \frac{t_{c2}}{L_{c2} \left(1 + \frac{\varphi}{360}\right)} \right). \quad (2.19)$$

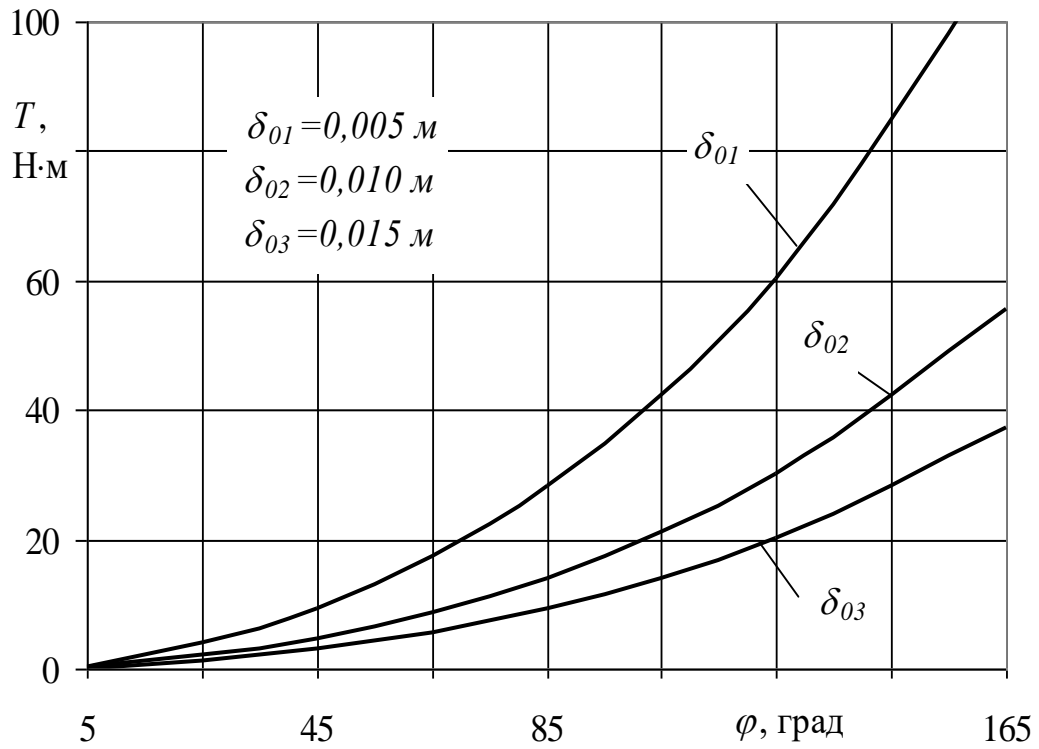


Рисунок 2.6 – Нелінійність $T = f(\varphi)$ характеристики витого валу
(ознака змінної жорсткості)

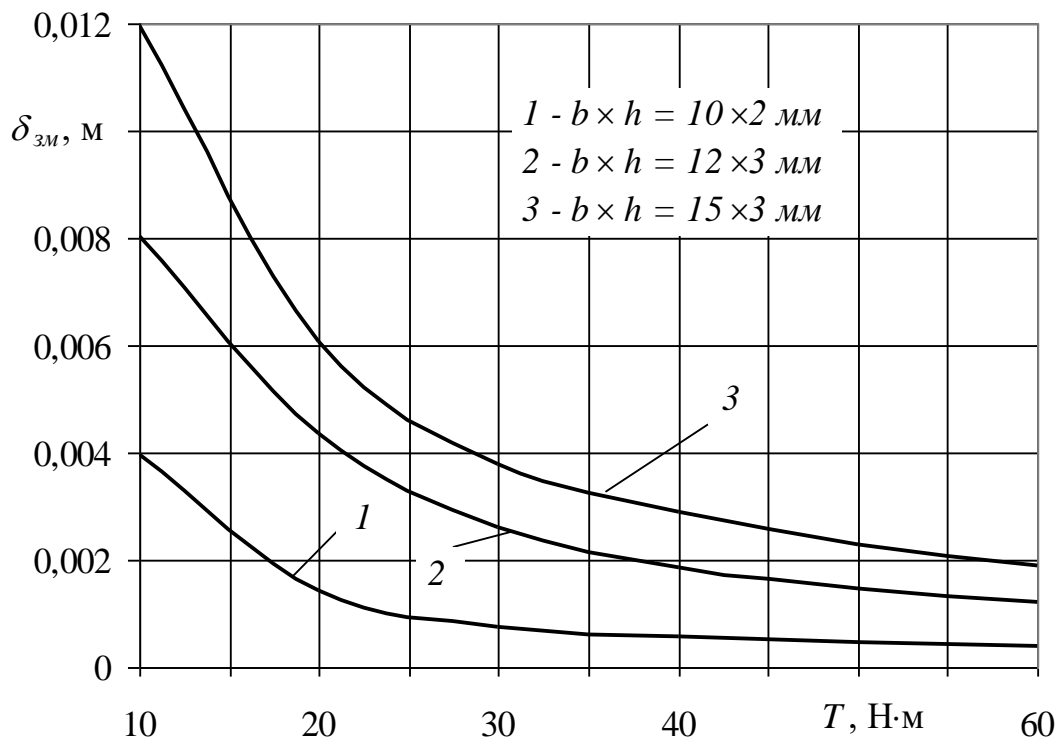


Рисунок 2.7 – Вплив обертового моменту на зміну зазору між пружинами

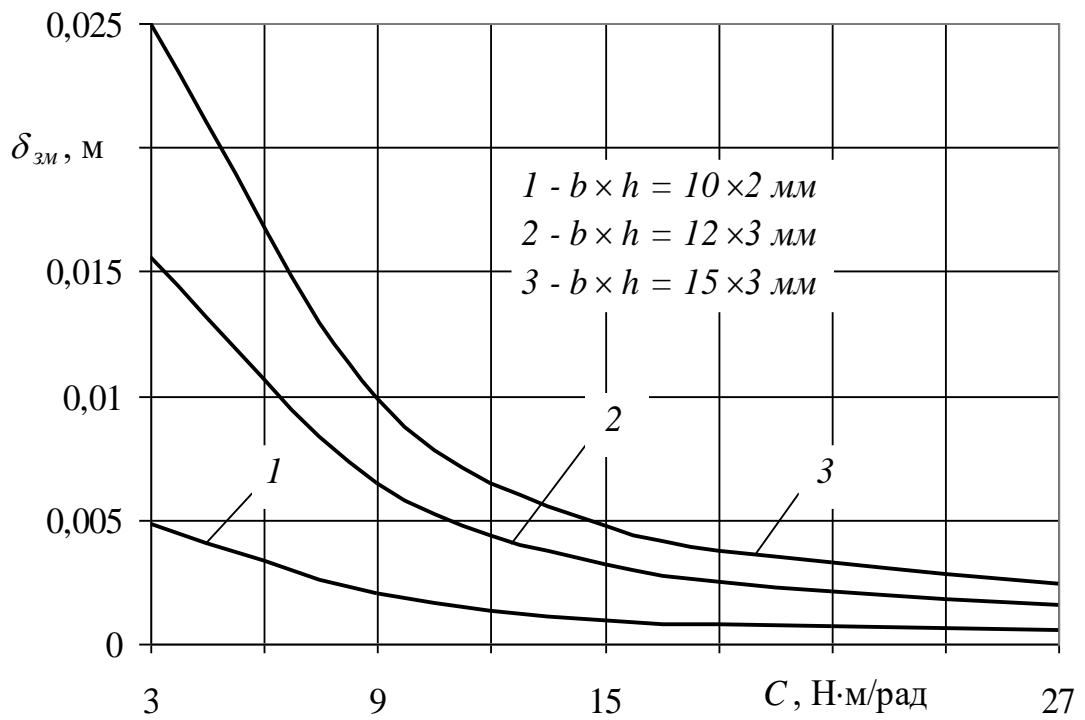


Рисунок 2.8 – Вплив зміни значення зазору між пружинами на зміну жорсткості витого вала

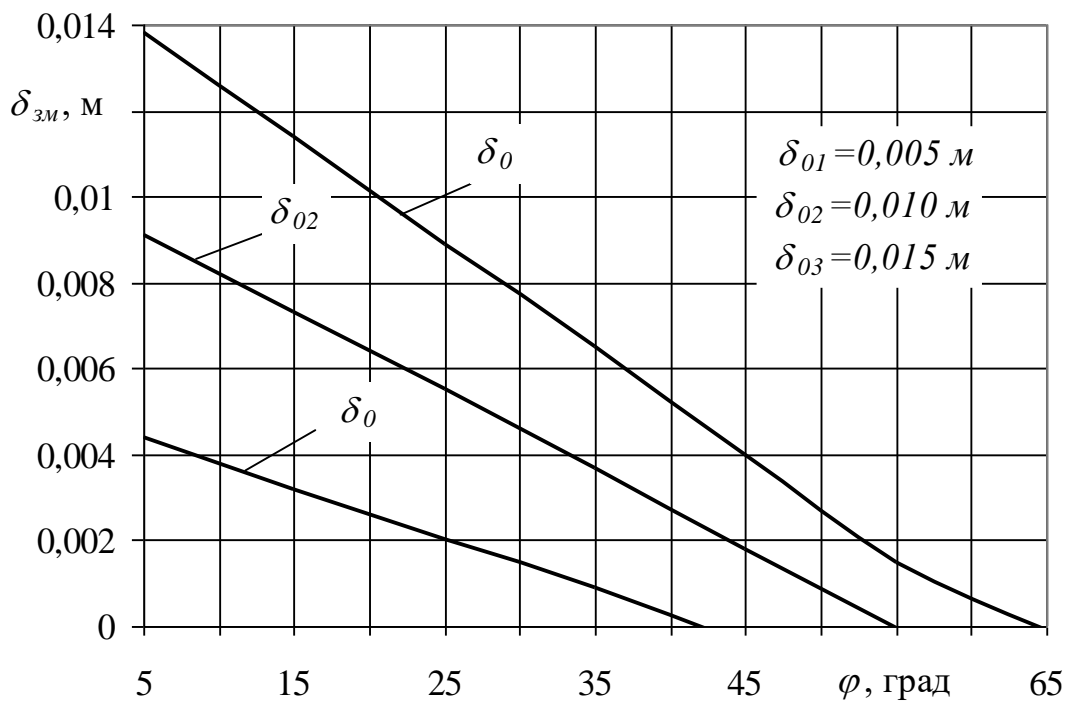


Рисунок 2.9 – Характеристика зміни значення зазору між пружинами від кута закручування витого вала

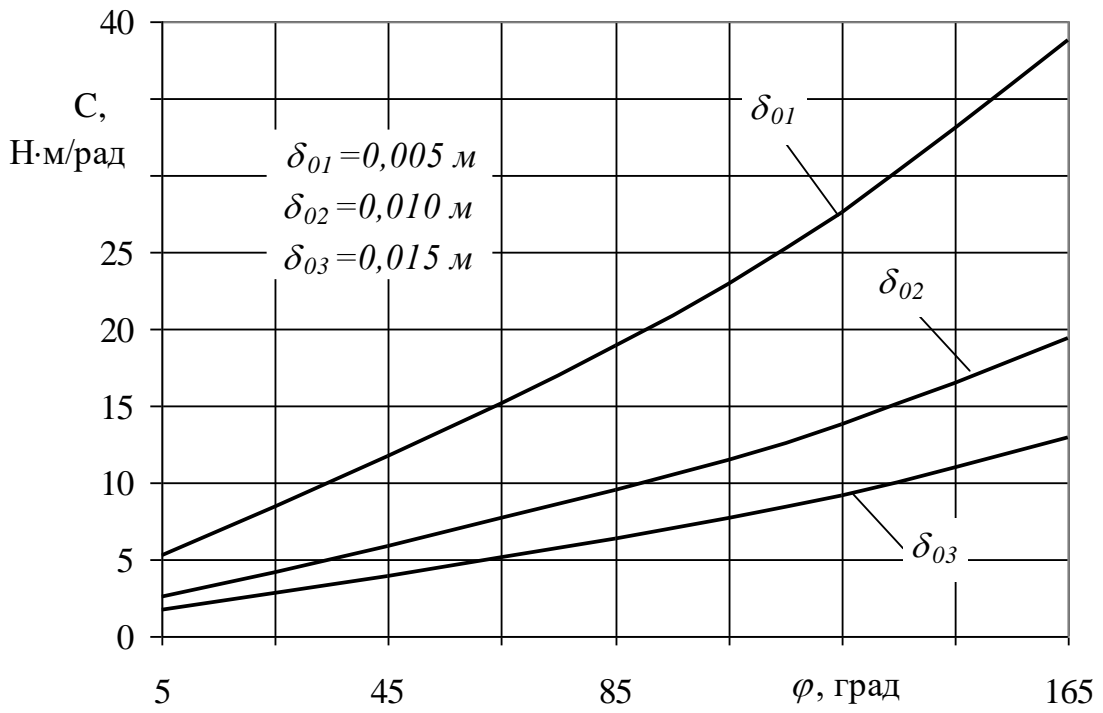


Рисунок 2.10 – Зміна жорсткості витого вала в залежності від кута його закручування

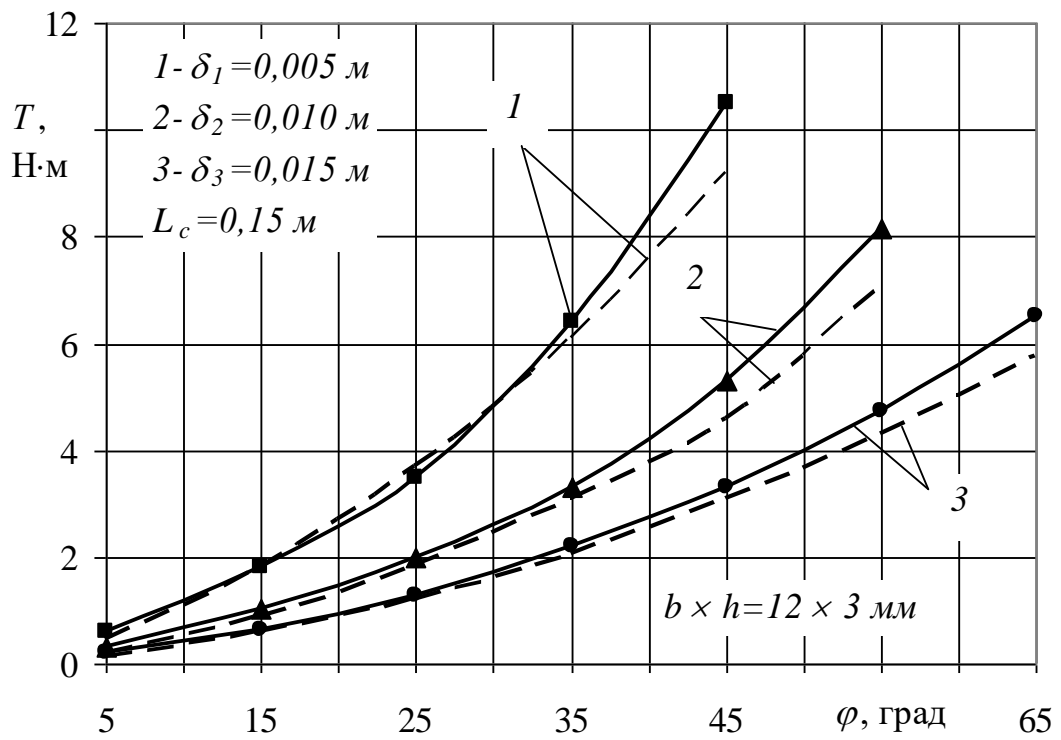


Рисунок 2.11 – Характеристика витого валу:

--- теоретичні дані; ——— експериментальні значення

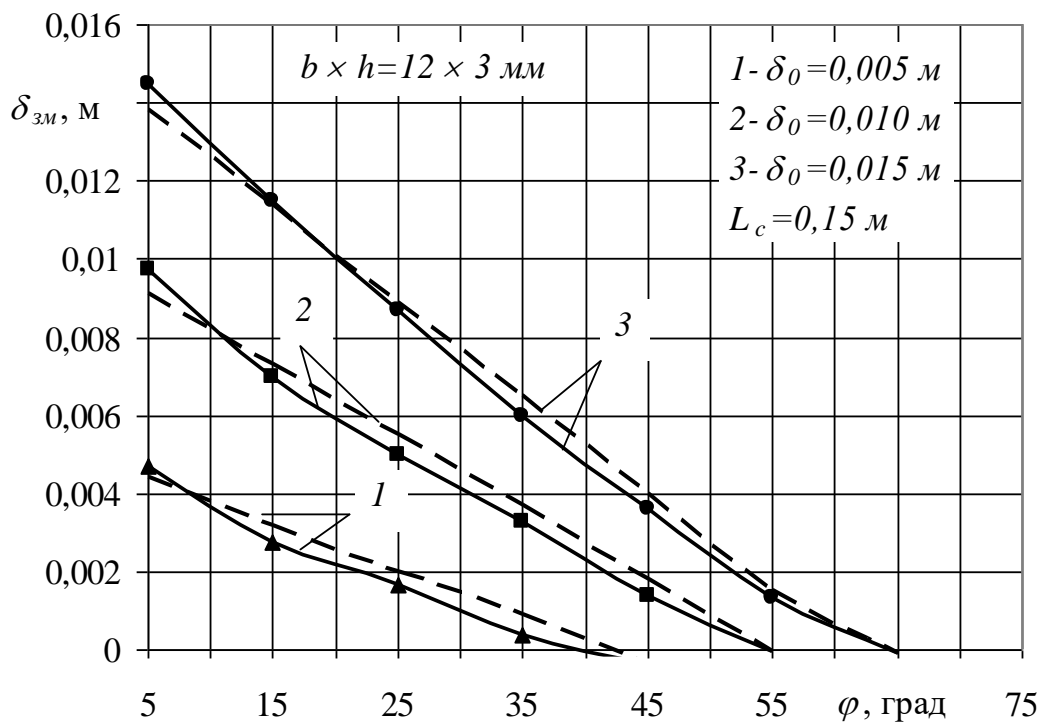


Рисунок 3.12 – Характеристика зміни зазору від кута закручування вала:

--- – теоретичні дані; ——— – експериментальні значення

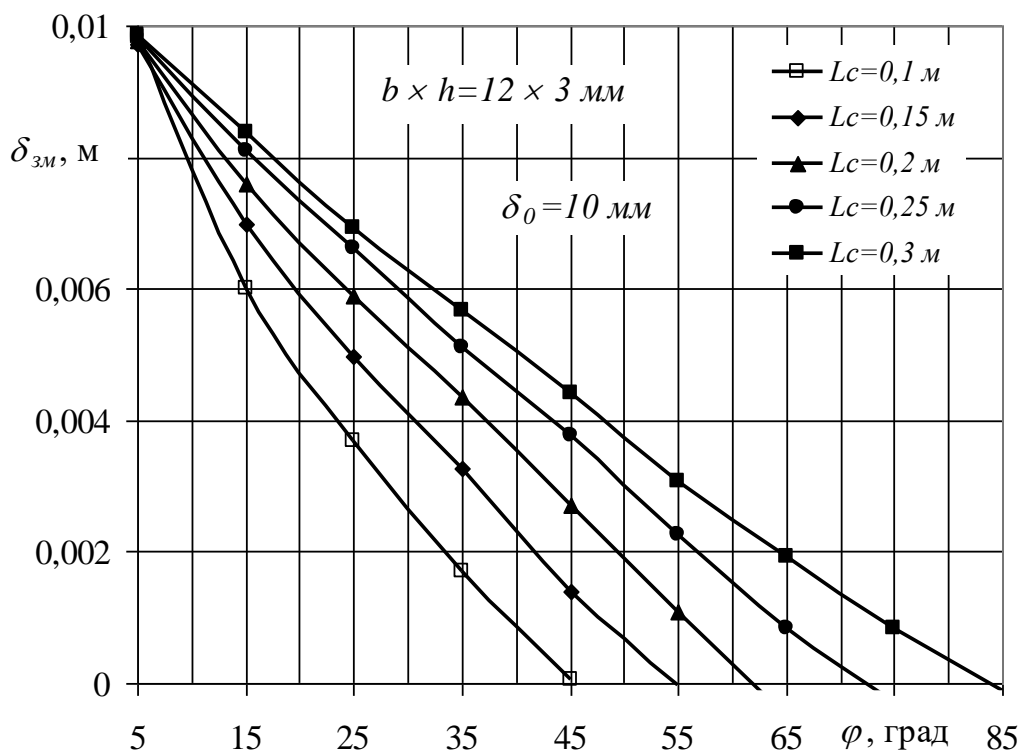


Рисунок 3.13 – Характеристика зміни зазору від кута закручування вала для його різних лінійних довжин

2.3 Узагальнення результатів досліджень

1. Аналізом результатів досліджень можна зробити висновок, що при значеннях не співвісності $\Delta_\alpha \leq 45^\circ$ і $\Delta_r \leq 35$ загальна довжина пружного елемента гнучкого витого вала повинна бути не менше 150...200 мм.

2. Дотримання зазору між пружинами витого вала забезпечить збільшення навантажувальних якостей витого вала до 4,7 раза, без втрати гнучкості, у порівнянні із однопружинним витим валом.

3. Витий вал із початковими значеннями зазору $\delta = 5...15$ мм між його пружинами витримує провертання фланців при надлишковому навантаженні у межах $\varphi = 40...65^\circ$ до початку зміни жорсткісних характеристик.

4. Витому валу із більшими січеннями витків пружин властиві більші значення пружних неруйнівних деформацій, зокрема зазор між пружинами січенням $b \times h$, мм розміром 15×3 до 20% перевищує значення при січенні 12×3 мм і до 80% - січення 10×2 мм.

5. При збільшенні значень обертового моменту, що сприймає витий вал у межах 10...60 Н·м, при поперечних січеннях витків пружин розміром 15×3 , 12×3 , 10×2 мм, початковий розмір зазору зменшується до 83% .

6. При однаковому значенні кута закручування вала для малих початкових зазорів між пружинами $\delta \leq 5$ мм спостерігається у 1,9...2,8 більша зміна жорсткості витого вала ніж при $\delta \geq 10...15$ мм.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Загальний аналіз об'єкту виробництва

Корпус 100.15-017 застосовується для встановлення підшипників привідного вала змішувального механізму кормороздавача. Також у ньому розміщений безпосередньо привідний шліцевий вал із шестернею.

Для ідентифікації оброблюваної чи формоутворюючої поверхні корпусу проведено їх номерне позначення (рис. 3.1). Згідно наявних технічних вимог і загального вигляду поверхонь впливає, що механічній обробці підлягають торцеві поверхні 1, 18; отвори 3, 5, 7, 9, 13; плоско-площинні 6; циліндричні 10, 19, 22; фаски 12, 23, 24; циліндрична канавка 11; різьбові 2, 8. Інші поверхні обробці не підлягають.

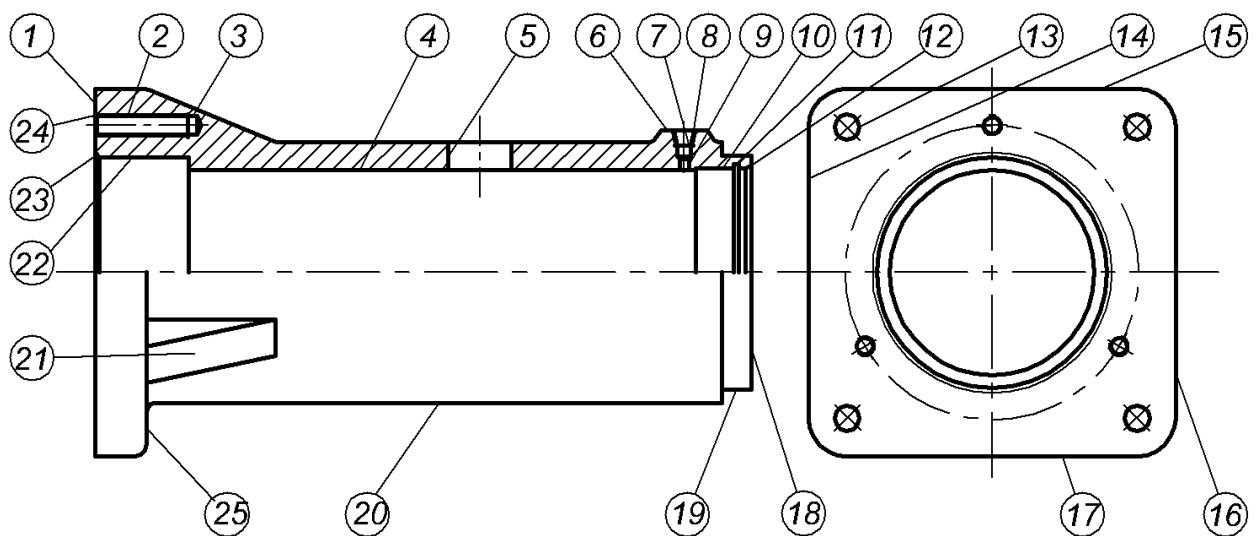
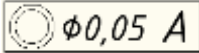
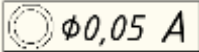
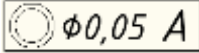
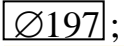
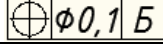


Рисунок 3.1 – Номерне позначення поверхонь деталі

Точність і якість поверхонь 4, 14, 15, 16, 17, 21, 25 визначає метод виробництва заготовки для корпусу 100.15-017. Конструкція корпусу достатньо жорстка для закріплення заготовки у приспособленнях під час обробки поверхонь, які мають підвищені чи спеціальні вимоги щодо свого виконання чи шорсткості своєї поверхні. Результати детального аналізу технічних вимог наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Необхідні технічні вимоги згідно креслення

| Поверхня | Вид поверхні, розмір, вимоги | Точність | Шорсткість |
|----------|---|----------|----------------|
| 1, 18 | Торцеві, 285±0,5; 176; 25 | H14 | Rz80 |
| 6 | Плоска, 17±0,5 | H14 | Rz80 |
| 19 | Циліндрична, Ø99,93 ^{-0,19} ; 13±0,05;  | H8 | Ra3,2 |
| 10 | Циліндрична, Ø90H9 ^{+0,074} ; 24±0,5;  | H9 | Ra6,3 |
| 11 | Циліндрична, Ø93,5 ^{+0,35} ; 2,2 ^{+0,14} 5,3 | H9 | Ra6,3 Ra3,2 |
| 12 | Конічна, 2,5x20° | H9 | Ra6,3 |
| 22 | Циліндрична, Ø100H8; 40±0,1;  | H8 | Ra1,6 |
| 23 | Конічна, 2x45° | H8 | Ra6,3 |
| 5 | Циліндрична, Ø28 165±0,1 | H14 | Rz80 |
| 9 | Циліндрична, Ø4; 28±0,8 | H14 | Rz80 |
| 7 | Циліндрична, Ø6; 5 min | H14 | Rz80 |
| 8 | Конічна, 1,6x45°; Конічна, K1/8" | H12 | Ra12,5 |
| 13 | Циліндрична, 4 отв. Ø12b12 ^(+0,33/+0,15) ;   | b12 | Rz80 |
| 3 | Циліндрична, 3 отв. Ø7,5; 45 | H12 | Ra6,3 |
| 24 | Конічна, 1x45° | H14 | Ra6,3 |
| 2 | Різьбова, 3 отв. M8; 36 | H12 | Ra6,3 |

Таблиця 3.2 – Методи дотримання і контролю вимог до поверхонь

| Позначення | Технічна умова | Спосіб виконання | Спосіб контролю |
|------------|--|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1, 18 | Точність по 14-му квалітету; шорсткість Rz80 мкм | Фрезерування поверхні 1; підрізка торця поверхні 18 | Зразки шорсткості, штангенциркуль |
| 6 | Точність по 14-му квалітету; шорсткість Rz80 мкм | Фрезерування | Зразки шорсткості, штангенциркуль |
| 19 | Точність по 8-му квалітету; шорсткість Ra3,2 мкм; допуск співвісності відносно осі не більше 0,05 мм | Чистове точіння | Зразки шорсткості, калібри, спецпристрій |
| 10 | Точність по 9-му квалітету; шорсткість Ra6,3 мкм; допуск співвісності відносно осі не більше 0,05 мм | Чистове точіння | Зразки шорсткості, калібри, спецпристрій |
| 11 | Точність по 9-му квалітету; шорсткість Ra6,3 мкм, Ra3,2 мкм | Чистове точіння | Зразки шорсткості, калібри, шаблон |
| 12 | Точність по 9-му квалітету; шорсткість Ra6,3 мкм | Чистове точіння | Зразки шорсткості, шаблон |
| 22 | Точність по 8-му квалітету; шорсткість Ra1,6 мкм; допуск співвісності відносно осі не більше 0,05 мм | Чистове точіння | Зразки шорсткості, калібри, спецпристрій |
| 23 | Точність по 8-му квалітету; шорсткість Ra6,3 мкм | Чистове точіння | Зразки шорсткості, шаблон |
| 5 | Точність по 14-му квалітету; шорсткість Rz80 мкм | Свердління | Зразки шорсткості, штангенциркуль |
| 9 | Точність по 14-му квалітету; шорсткість Rz80 мкм | Свердління | Зразки шорсткості, штангенциркуль |
| 7 | Точність по 14-му квалітету; шорсткість Rz80 мкм | Свердління | Зразки шорсткості, штангенциркуль |

Закінчення таблиці 3.2

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|--|------------------|---|
| 8 | Точність по 12-му квалітету; шорсткість Ra6,3 мкм | Нарізання різьби | Зразки шорсткості, калібр-пробка |
| 13 | Точність по 12-му квалітету; допуск на розміщення не більше 0,1 мм відносно осі; шорсткість Rz80 мкм; вимога на розміщення | Свердління | Зразки шорсткості, штангенциркуль; калібр на розміщення |
| 3 | Точність по 12-му квалітету; шорсткість Ra6,3 мкм; вимога на розміщення | Свердління | Зразки шорсткості, штангенциркуль; калібр на розміщення |
| 24 | Точність по 14-му квалітету; шорсткість Ra6,3 мкм | Зенкування | Зразки шорсткості, штангенциркуль |
| 2 | Точність по 12-му квалітету; шорсткість Ra6,3 мкм | Нарізання різьби | Зразки шорсткості, штангенциркуль |

Конструкційним матеріалом корпусу 100.15-017 є марочний сірий чавун СЧ20, хімічні і механічні властивості [12] якого встановлені стандартом ДСТУ 8833:2019. Цільове призначення даного металу у машинобудуванні – це корпуси, кронштейни та інші деталі корпусного типу, які функціонально не сприймають значних статично-динамічних навантажень. Щодо матеріалу то він має достатню міцність і твердість, не є дорогим і дефіцитним, є достатньо технологічним для механічного оброблення.

Таблиця 3.3 – Хімічні складові СЧ20

| Марка матеріалу | Вміст хімічних елементів | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|---------|---------|-----------|------|-------|-------|
| | С, % | Mn, % | Si, % | S, % | P, % | Cr, % | Ni, % |
| | | | | не більше | | | |
| СЧ20 | 3,0÷3,3 | 0,8÷1,2 | 1,3÷1,7 | 0,15 | 0,3 | 0,3 | 0,75 |

Таблиця 3.4 – Механічна характеристика СЧ20

| Марка матеріалу | Характеристика | | | | | |
|-----------------|------------------|------------------|----------------|------------|-------------------------|-----------|
| | σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ_5 , % | ψ , % | КСУ, Дж/см ² | НВ |
| СЧ20 | 210 | 315 | 40 | 45 | 75 | 170...240 |

Заготовкою є відливка III класу, яка виготовляється методом литтям у глиняно-піщану форму. Даний метод є досить поширеним, нескладним і можна його не змінювати. Але для підтвердження цього припущення необхідно провести аналіз технологічності конструкції корпусу. Ступінь технологічності визначають за набором коефіцієнтів [13].

Коефіцієнт точності

$$K_{T,ч} = 1 - \frac{1}{T_{cp}}, \quad (3.1)$$

$$T_{cp} = \frac{\sum T_{n_i}}{\sum n_i}, \quad (3.2)$$

$$T_{cp} = \frac{6 \cdot 14 + 3 \cdot 8 + 3 \cdot 9 + 4 \cdot 12}{16} \approx 11.$$

$$K_{T,ч} = 1 - \frac{1}{11} \approx 0,91$$

Коефіцієнт шорсткості

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}}, \quad (3.3)$$

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (3.4)$$

$$Ш_{cp} = \frac{6 \cdot 80 + 2 \cdot 3,2 + 7 \cdot 6,3 + 12,5}{16} \approx 34.$$

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{34} \approx 0,97.$$

Коефіцієнт використаного на деталь металу

$$K_{в.м} = \frac{M_{\partial}}{M_3}, \quad (3.5)$$

де M_{∂} – вага корпусу, $M_{\partial} = 4,6$ кг;

M_3 – вага вихідної заготовки, $M_3 = 6,2$ кг.

$$K_{в.м} = \frac{4,6}{6,2} \approx 0,74.$$

Відповідно по конструкції корпусу можна зробити висновок, що вона є досить технологічною, потреби у зміні способів забезпечення технічних вимог до оброблюваних поверхонь немає ($K_{Т.Ч} = 0,91$; $K_{ш} = 0,97$). Доцільно лише підвищити коефіцієнт використовуваного металу ($K_{в.м} = 0,74$). Це можна забезпечити вибором більш технологічного методу виготовлення заготовки, який забезпечить більшу відповідність заготовки формі і розмірам корпусу за рахунок менших припусків на механічне оброблення.

За формою і розмірами корпусу, матеріалом найдоцільнішими будуть заготовки отримувані способами лиття у піщані моделі і лиття у кокіль [14, 15].

Припуски на мехобробку для всіх видів заготовок (включаючи базову) визначимо табличним способом відповідно до точності вибраного методу [13]. Вихідними даними є розміри деталі згідно креслення, матеріал і маса корпусу.

Таблиця 3.5 – Припуски на поверхні корпусу 100.15-015 (лиття у земляні форми (базова))

| Клас точності розмірів | Клас точності мас | Найбільший ступінь жолоблення | | Ряд припусків |
|------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 9 | 10 | 8 | | 4 |
| Точність заготовки | | | 9-10-8-4 ГОСТ 26645 - 85 | |
| Поверхня | Допуск, мм | Припуск, мм | | Кінцевий розмір, мм |
| 1, 18 | ±3,20 | 5,0÷6,5 приймаємо 6,0 | | 297±3,20 |
| 6 | ±1,60 | 3,0÷3,8 приймаємо 3,5 | | 24±1,60 |
| 19 | ±2,20 | 3,8÷4,6 приймаємо 4,2 | | Ø107,4±2,20 |
| 10 | ±2,20 | 3,8÷4,6 приймаємо 4,0 | | Ø82±2,20 |
| 11 | — | — | | суцільний матеріал |
| 12 | — | — | | суцільний матеріал |
| 22 | ±2,40 | 4,2÷5,0 приймаємо 4,6 | | Ø90,8±1,40 |
| 23 | — | — | | суцільний матеріал |
| 5 | — | — | | суцільний матеріал |
| 9 | — | — | | суцільний матеріал |
| 7 | — | — | | суцільний матеріал |
| 8 | — | — | | суцільний матеріал |
| 13 | — | — | | суцільний матеріал |
| 3 | — | — | | суцільний матеріал |
| 24 | — | — | | суцільний матеріал |
| 2 | — | — | | суцільний матеріал |
| 4, 20 | ±1,20 | 2,8÷3,4 приймаємо 3,2 | | 14,4±1,20 |

Таблиця 3.6 – Припуски на поверхні корпусу 100.15-015 (лиття у піщані форми)

| Клас точності розмірів | Клас точності мас | Найбільший ступінь жолоблення | | Ряд припусків |
|------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|
| 8 | 9 | 7 | | 3 |
| Точність заготовки | | | 8-9-7-3 ГОСТ 26645 - 85 | |
| Поверхня | Допуск, мм | Припуск, мм | | Кінцевий розмір, мм |
| 1 | 2 | 3 | | 4 |
| 1, 18 | ±2,00 | 2,8÷3,6 приймаємо 3,2 | | 291,4±2,00 |
| 6 | ±0,90 | 2,0÷2,8 приймаємо 2,4 | | 19,4±0,90 |
| 19 | ±1,40 | 2,2÷3,0 приймаємо 2,6 | | Ø104,2±1,40 |
| 10 | ±1,40 | 2,2÷3,0 приймаємо 2,6 | | Ø84,8±1,40 |
| 11 | — | — | | суцільний матеріал |

Закінчення таблиці 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------|------------|-----------------------|-----------------------------|
| 12 | — | — | суцільний матеріал |
| 22 | $\pm 1,40$ | 2,2÷3,0 приймаємо 2,6 | $\varnothing 94,8 \pm 1,40$ |
| 23 | — | — | суцільний матеріал |
| 5 | — | — | суцільний матеріал |
| 9 | — | — | суцільний матеріал |
| 7 | — | — | суцільний матеріал |
| 8 | — | — | суцільний матеріал |
| 13 | — | — | суцільний матеріал |
| 3 | — | — | суцільний матеріал |
| 24 | — | — | суцільний матеріал |
| 2 | — | — | суцільний матеріал |
| 4, 20 | $\pm 0,80$ | 1,8÷2,4 приймаємо 2,0 | $12 \pm 0,80$ |

Таблиця 3.7 – Припуски на поверхні корпусу 100.15-015 (лиття у кокіль)

| Клас точності розмірів | Клас точності мас | Найбільший ступінь жолоблення | Ряд припусків |
|------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 7 | 8 | 6 | 2 |
| Точність заготовки | | 7-8-6-2 ГОСТ 26645 - 85 | |
| Поверхня | Допуск, мм | Припуск, мм | Кінцевий розмір, мм |
| 1, 18 | $\pm 1,60$ | 2,0÷2,8 приймаємо 2,6 | $290,2 \pm 1,60$ |
| 6 | $\pm 0,80$ | 1,3÷1,8 приймаємо 1,6 | $18,6 \pm 0,80$ |
| 19 | $\pm 1,10$ | 1,6÷2,4 приймаємо 2,0 | $\varnothing 103 \pm 1,10$ |
| 10 | $\pm 1,10$ | 1,6÷2,4 приймаємо 1,8 | $\varnothing 86,4 \pm 1,10$ |
| 11 | — | — | суцільний матеріал |
| 12 | — | — | суцільний матеріал |
| 22 | $\pm 1,20$ | 2,0÷2,8 приймаємо 2,4 | $\varnothing 95,2 \pm 1,20$ |
| 23 | — | — | суцільний матеріал |
| 5 | — | — | суцільний матеріал |
| 9 | — | — | суцільний матеріал |
| 7 | — | — | суцільний матеріал |
| 8 | — | — | суцільний матеріал |
| 13 | — | — | суцільний матеріал |
| 3 | — | — | суцільний матеріал |
| 24 | — | — | суцільний матеріал |
| 2 | — | — | суцільний матеріал |
| 4, 20 | $\pm 0,64$ | 1,3÷1,8 приймаємо 1,5 | $11 \pm 0,64$ |

Таблиця 3.8 – Порівняння значень припусків заготовок

| Поверхня | Значення припуску на поверхню, мм | | | Різниця припусків у порівнянні з базовим, % | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------|---|----------------|
| | лиття у земляні форми (базовий) | лиття у піщані форми | лиття у кокіль | лиття у піщані форми | лиття у кокіль |
| 1, 18 | 6,0 | 3,2 | 2,6 | 47 | 57 |
| 6 | 3,5 | 2,4 | 1,6 | 31 | 54 |
| 19 | 4,2 | 2,6 | 2,0 | 38 | 52 |
| 10 | 4,0 | 2,6 | 1,8 | 35 | 55 |
| 22 | 4,6 | 2,6 | 2,4 | 43 | 48 |
| 4, 20 | 3,2 | 2,0 | 1,5 | 38 | 53 |
| Середнє значення різниці припусків, % | | | | 37 | 53 |

Маса відходів у базовій заготовці

$$M_e = M_z - M_o = 6,2 - 4,6 = 1,6 \text{ кг}$$

Маса відходів із заготовки отримуваної литтям у піщані форми

$$M_{e1} = M_e - (M_e \cdot 0,37) = 1,6 - 0,592 = 1,008 \text{ кг}$$

Маса відходів із заготовки отримуваної литтям у кокіль

$$M_{e2} = M_e - (M_e \cdot 0,53) = 1,6 - 0,592 = 0,752 \text{ кг}$$

Маса заготовки отримуваної литтям у піщані форми

$$M_{z1} = M_o + M_{e1} = 4,6 + 1,008 = 5,608 \approx 5,61 \text{ кг}$$

Маса заготовки отримуваної литтям у кокіль

$$M_{32} = M_{\partial} + M_{62} = 4,6 + 0,752 = 5,352 \approx 5,35 \text{ кг}$$

Коефіцієнти використаного металу

$$K_{\text{в.м1}} = \frac{4,6}{5,61} \approx 0,82;$$

$$K_{\text{в.м1}} = \frac{4,6}{5,35} \approx 0,86.$$

Остаточне рішення щодо методу виробництва заготовки приймемо після визначення їх вартості за відомою методикою [14]

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot M_3 \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_O \right) - (M_3 - M_{\partial}) \frac{S_{\text{вiдх}}}{1000}. \quad (3.6)$$

Приблизна ціна заготовки отримуваної литтям у піщані форми

$$C_i = 16000 \text{ грн.}; S_{\text{вiдх}} = 4700 \text{ грн.};$$

$$K_T = 1; K_C = 1,15; K_B = 1,3; K_M = 1; K_O = 1.$$

$$S_{\text{заг1}} = \left(\frac{16000}{1000} \cdot 5,61 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (5,61 - 4,6) \frac{4700}{1000} \approx 129,44 \text{ грн.}$$

Приблизна ціна заготовки отримуваної литтям у кокіль

$$C_i = 18500 \text{ грн.}; S_{\text{вiдх}} = 4700 \text{ грн.};$$

$$K_T = 1; K_C = 1,2; K_B = 1,1; K_M = 1; K_O = 1.$$

$$S_{\text{заг2}} = \left(\frac{18500}{1000} \cdot 5,35 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (5,35 - 4,6) \frac{4700}{1000} \approx 127,12 \text{ грн.}$$

Отже, метод виробництва заготовок – лиття у кокіль.

Таблиця 3.9 – Основні характеристики базової технології виготовлення корпусу 100.15-017

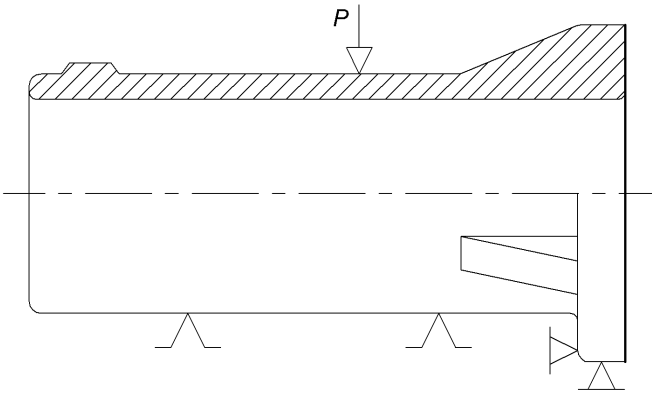
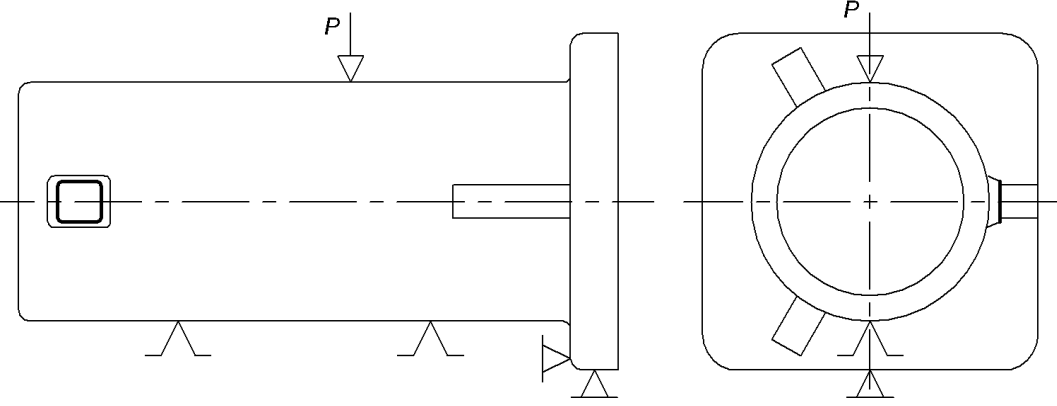
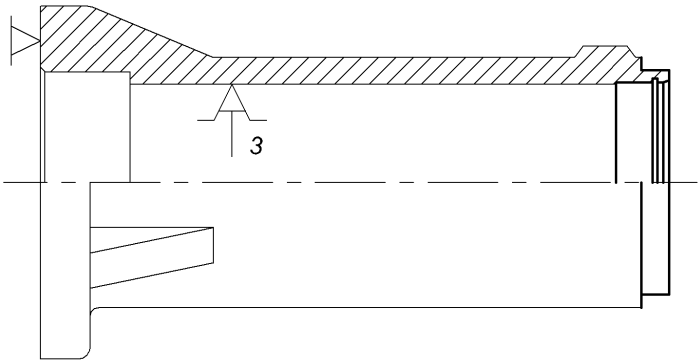
| № операції | Назва операції | Обладнання | Штучний час, хв. |
|------------|-------------------------|------------|------------------|
| 005 | вертикально-свердлильна | 2Н135 | 0,96 |
| 010 | вертикально-свердлильна | 2Н135 | 1,13 |
| 015 | фрезерна з ЧПК | 6Р13Ф3 | 6,85 |
| 015 | фрезерна з ЧПК | 6Р13Ф3 | 1,05 |
| 020 | токарна з ЧПК | 16К30Ф3 | 6,36 |
| 025 | токарна | 1А720 | 0,49 |
| 030 | горизонтально-протяжна | 7Б56 | 3,67 |
| 035 | вертикально-свердлильна | 2Н135 | 0,75 |
| 040 | вертикально-свердлильна | 2Н135 | 1,02 |
| 045 | радіально-свердлильна | 2Н55 | 1,82 |
| 050 | радіально-свердлильна | 2Н55 | 1,15 |
| 055 | слюсарна | Верстак | 0,44 |
| 060 | промивка | М2А | 0,35 |
| 065 | контрольна | ПР 1466 | 1,28 |

3.2 Розроблення маршруту і технології обробки деталі

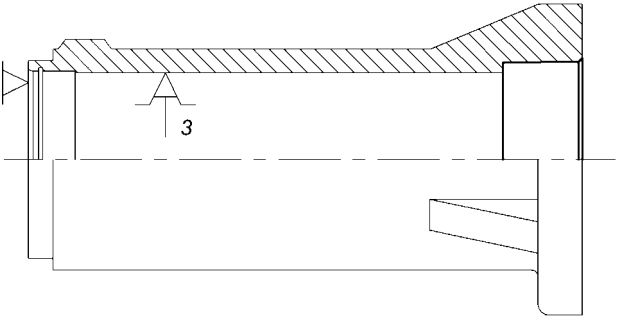
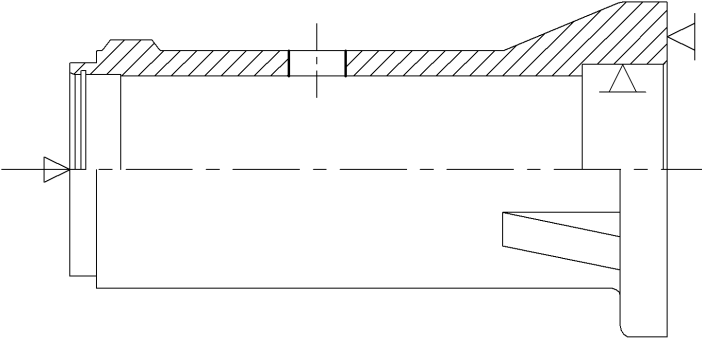
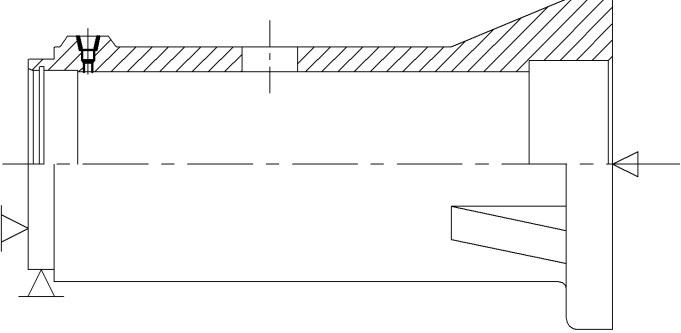
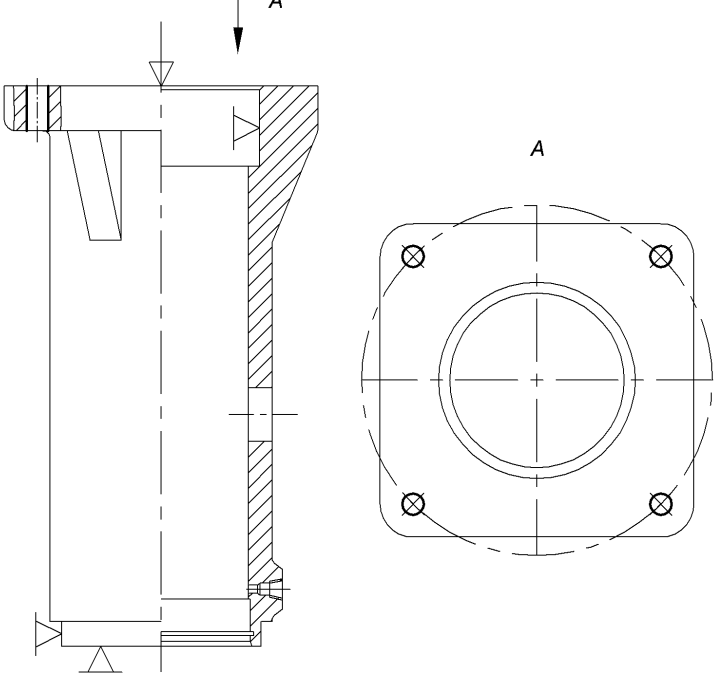
При розробленні маршруту і технології обробки корпусу необхідно передбачити раціональну послідовність обробки поверхонь заготовки, виявити можливість одночасної їх обробки, встановити технологічні бази, оцінити можливості їх використання; визначити вид обладнання, що забезпечує отримання деталі із заготівлі необхідної точності з мінімальними витратами праці; визначити кількість необхідних проходів та переходів; з'ясувати можливість поєднання переходів; уточнити технологічні бази, намічені для використання на кожному виді обладнання; визначити кількість та конструкції необхідного обладнання для виконання кожної технологічної операції, оцінити можливість використання недорогого обладнання, яке забезпечить дотримання технічних вимог і продуктивність оброблення.

При встановленні базових поверхонь використано нумерацію поверхневих площин корпусу відповідно рис. 3.1

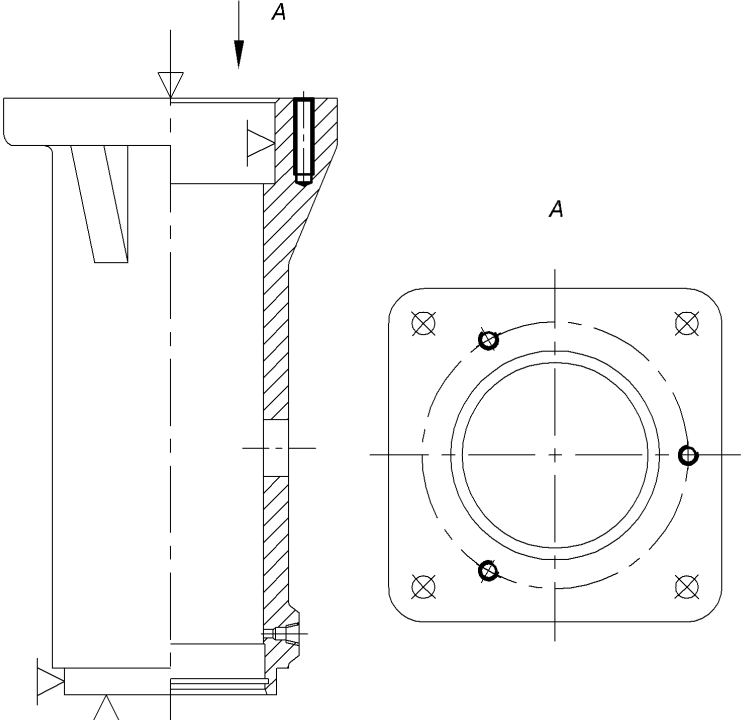
Таблиця 3.10 – Базові і оброблювані поверхні корпусу 100.15-017

| Установочна поверхня | Оброблювана поверхня | Схематичне зображення встановлення і фіксації заготовки |
|----------------------|--------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 17, 20, 25 | 1 |  |
| 17, 20, 25 | 6 |  |
| 1, 4 | 10, 11, 12, 18, 19 |  |

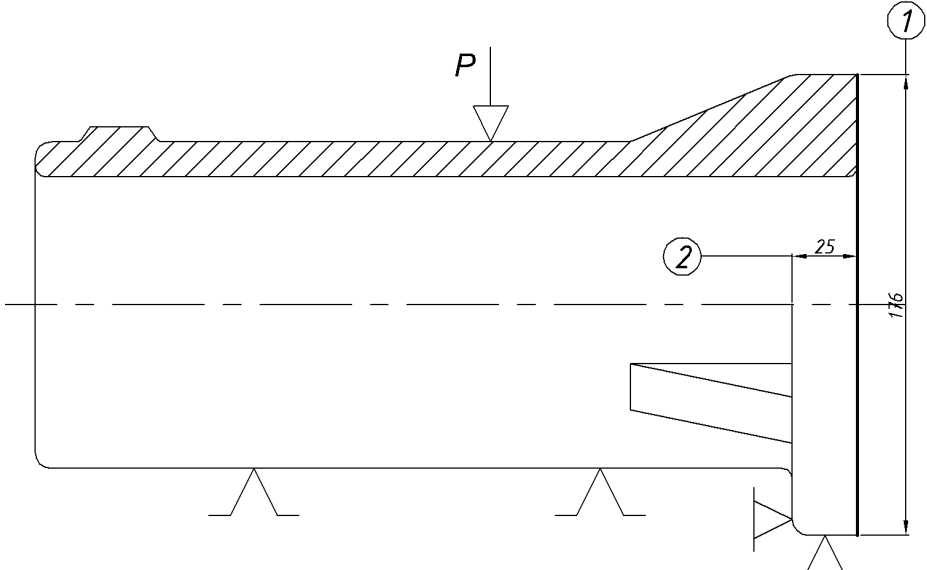
Продовження таблиці 3.10

| 1 | 2 | 3 |
|------------------|---------------|--|
| 4, 18 | 22, 23 |  |
| 1, 22 | 5 |  |
| 18, 19 | 7, 8, 9 |  |
| 18, 19, 22 | 13 |  |

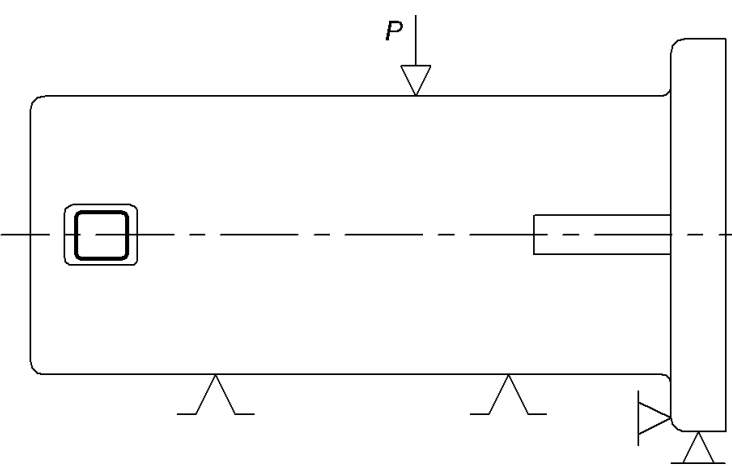
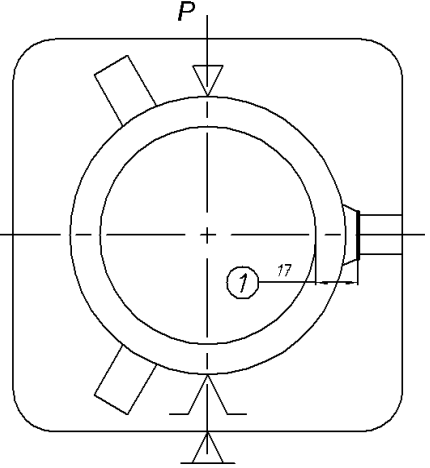
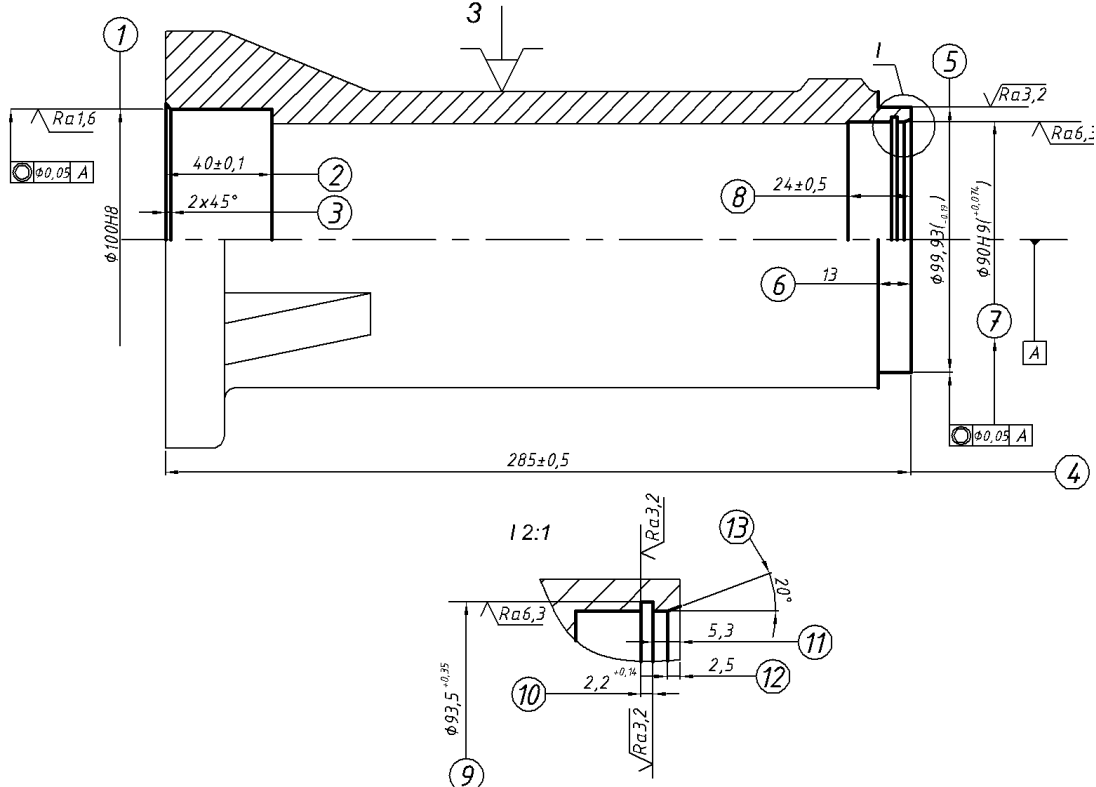
Закінчення таблиці 3.10

| | | |
|------------------|----------------|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 18, 19, 22 | 2, 3, 23 |  |

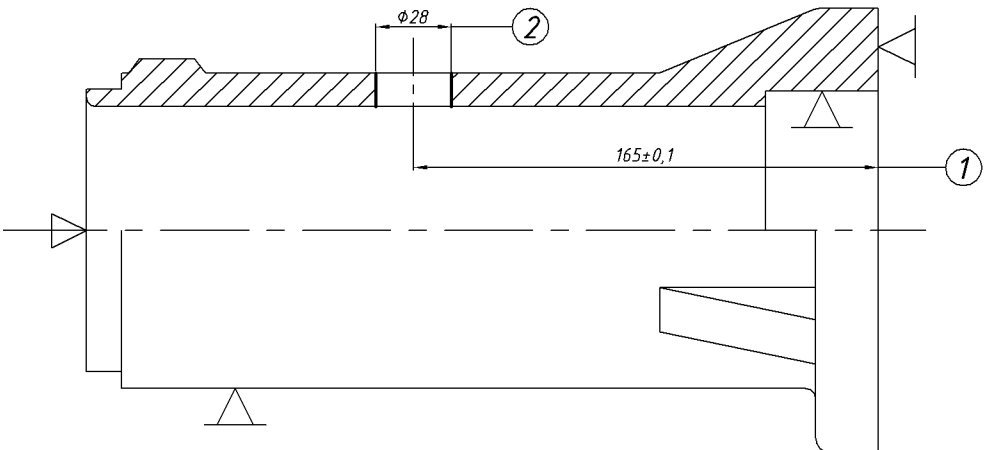
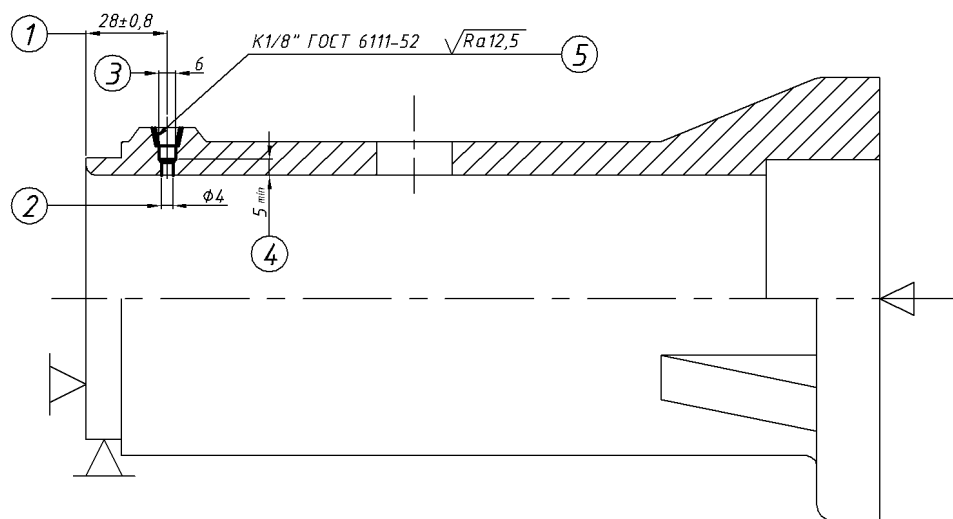
Таблиця 3.11 – Послідовність маршруту обробки поверхонь корпусу

| Технологічна операція, перехід | Верстат, оснащення |
|--|--|
| 1 | 2 |
| Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати торець у розмір 1, 2. | Горизонтально-фрезерний консольний мод. 6Р82Г |
|  | |

Продовження таблиці 3.11

| 1 | 2 |
|--|---|
| <p>Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати площину у розмір 1.</p> | <p>Горизонтально-фрезерний консольний мод. 6P82Г</p> |
|  |  |
| <p>Токарна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розточити отвір у розмір 1, 2 із зняттям фаски у розмір 3; 2. Переустановити деталь; 3. Підрізати торець у розмір 4; 4. Обточити поверхню у розмір 5, 6; 5. Розточити поверхню у розмір 7, 8; 6. Проточити канавку у розмір 9, 10, 11 із зняттям фаски у розмір 12, 13. | <p>Напівавтомат токарний багаторізцевий мод. 1A720</p> |
|  | |

Продовження таблиці 3.11

| 1 | 2 |
|---|--|
| <p>Вертикально-свердлильна</p> <p>1. Свердлити отвір у розмір 1, 2 наскрізно.</p> | <p>Вертикально-свердлильний верстат мод. 2С132</p> |
|  | |
| <p>Вертикально-свердлильна</p> <p>1. Свердлити отвір у розмір 1, 2 наскрізно;</p> <p>2. Розсвердлити отвір у розмір 3, 4;</p> <p>3. Нарізати різьбу у розмір 5.</p> | <p>Вертикально-свердлильний верстат мод. 2С132</p> |
|  | |

Закінчення таблиці 3.11

| 1 | 2 |
|---|--|
| <p>Вертикально-свердлильна</p> <p>1. Свердлити 4-и отвори одночасно у розмір 1, 2 наскрізно.</p> | <p>Вертикально-свердлильний верстат мод. 2C132</p> |
| | |
| <p>Вертикально-свердлильна</p> <p>1. Свердлити 3-и отвори одночасно у розмір 1, 2, 3 із зняттям фасок у розмір 4;</p> <p>2. Нарізати послідовно різьбу в 3-х отворах у розмір 5, 6.</p> | <p>Вертикально-свердлильний верстат мод. 2C132</p> |
| | |

3.3 Встановлення параметрів обробки і нормування

Призначення параметрів обробки для більшості поверхонь здійснимо згідно нормованих показників [16]. Розрахунком встановимо показово для торцевої поверхні, яка обробляється фрезеруванням.

Горизонтально-фрезерна з обробки торцевої поверхні.

Швидкість руху фрези

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_m \cdot K_n \cdot K_u \cdot K_\phi}{T^m \cdot t^x \cdot S^y \cdot z^n \cdot B^z}, \quad (3.7)$$

де C_v , D , q , m , x, y , n , z , T , K_m , K_n , K_u , K_ϕ – нормативні дані, які враховують умови оброблення і характеристику інструменту. Згідно рекомендованих даних [16]

$$C_v = 64,7;$$

$$D = 160 \text{ мм};$$

$$q = 0,25; m = 0,2; x = 0,15; y = 0,6; n = 0,1; z = 0,1;$$

$$T = 180 \text{ хв.};$$

$$K_m = 1; K_n = 0,9; K_u = 1,3; K_\phi = 1.$$

$$V = \frac{64,7 \cdot 160^{0,25} \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,3 \cdot 1}{180^{0,2} \cdot 4^{0,15} \cdot 0,08^{0,2} \cdot 12^{0,1} \cdot 50^{0,1}} = 67,7 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання фрези

$$n = \frac{1000V}{\pi D}. \quad (3.8)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 67,7}{3,14 \cdot 160} = 135 \text{ об/хв.}$$

Найближче значення обертів згідно технічних даних обладнання $n = 125$ об/хв. Відповідна швидкість руху фрези

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 160 \cdot 125}{1000} = 63 \text{ м/хв.}$$

Подача фрези

$$S_m = S_z \cdot z \cdot n, \quad (3.9)$$

де S_z , z – нормативні дані, які враховують характеристику інструменту. Згідно рекомендованих даних [16]

$$S_z = 0,08 \text{ мм/зуб};$$

$$z = 16.$$

$$S_m = 0,08 \cdot 12 \cdot 125 = 160 \text{ мм/об.}$$

Потужність фрезерування

$$N_e = \frac{P_{piz} \cdot V}{60 \cdot 102}, \quad (3.10)$$

де P_{piz} – силове навантаження при фрезеруванні, Н;

$$P_{piz} = C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot z \cdot B^z \cdot D^q, \quad (3.11)$$

де C_p , t , B , q , x , y , z – нормативні дані, які враховують умови оброблення і характеристику інструменту. Згідно рекомендованих даних [16] та інформації про оброблювану поверхню

$$C_p = 68;$$

$$t = 2,6 \text{ мм};$$

$$B = 156 \text{ мм};$$

$$q = 0,24; x = 0,36; y = 0,74; z = 0,46.$$

$$P_{\text{риз}} = 68 \cdot 2,6^{0,36} \cdot 0,08^{0,74} \cdot 16 \cdot 156^{0,46} \cdot 160^{0,24} = 194,6 \approx 195 \text{ Н.}$$

$$N_e = \frac{195 \cdot 63}{60 \cdot 102} \approx 2 \text{ кВт.}$$

Основний час фрезерування

$$T_o = \frac{L}{S_m}, \quad (3.12)$$

де L – лінійна протяжність фрезерування, мм.

$$L = B_L + y_1 + y_2, \quad (3.13)$$

де B_L , y_1 , y_2 – дані, які враховують умови оброблення.

$$B_L = 156 \text{ мм};$$

$$y_1 = 5 \text{ мм};$$

$$y_2 = 5 \text{ мм.}$$

$$L = 156 + 5 + 5 = 166 \text{ мм};$$

$$T_o = \frac{166}{160} \approx 1,04 \text{ хв.}$$

Таблиця 3.12 – Параметри обробки корпусу 10.15-017

| № опер. | Назва операції, перехід | L , мм | t , мм | i | S , мм/об. | S_m , мм/хв. | n , об/хв. | V , м/хв. | T_o , хв. | N_e , кВт |
|---------|--------------------------------------|----------|----------|-----|--------------|----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 005 | Горизонтально-фрезерна Перехід 1 | 166 | 2,6 | 1 | 160 | - | 125 | 63 | 1,04 | 2,00 |
| 010 | Горизонтально-фрезерна Перехід 1 | 20 | 1,6 | 1 | 120 | - | 125 | 63 | 0,52 | 0,31 |
| 015 | Токарна Перехід 1 | 45 | 2,4 | 2 | 0,2 | - | 250 | 68 | 1,02 | 1,71 |
| | Перехід 3 | 15 | 2,6 | 1 | 0,4 | - | 200 | 93 | 0,65 | |
| | Перехід 4 | 18 | 2,6 | 1 | 0,4 | - | 200 | 93 | 0,82 | |
| | Перехід 5 | 29 | 1 | 1 | 0,4 | - | 200 | 93 | 0,42 | |
| | Перехід 6 | 5 | 1,75 | 1 | 0,4 | - | 200 | 93 | 0,15 | |
| 020 | Вертикально-свердлильна Перехід 1 | 14 | 15 | 1 | 0,2 | - | 250 | 22,8 | 0,58 | 1,65 |
| 025 | Вертикально-свердлильна Перехід 1 | 20 | 2 | 1 | ручна | - | 710 | 8,9 | 0,6 | 0,42 |
| | Перехід 2 | 17 | 2,3 | 1 | ручна | - | 500 | 13,5 | 0,34 | |
| | Перехід 3 | 15 | - | 1 | 0,941 | - | 250 | 7,9 | 0,16 | |
| 030 | Вертикально-свердлильна Перехід 1 | 25 | 6 | 1 | 0,2 | - | 425 | 16,01 | 0,36 | 0,56 |
| 035 | Вертикально-свердлильна Перехід 1 | 45 | 3,75 | 11 | 0,35 | -- | 350 | 8,9 | 0,23 | 0,47 |
| | Перехід 2 | 40 | - | 1 | 0,941 | - | 250 | 7,9 | 0,46 | |
| 040 | Слюсарна | | | | | | | | | |
| 045 | Приймальний контроль | | | | | | | | | |

Часові нормозатрати на механічну обробку поверхонь корпусу 100.15-017 призначимо за уніфікованими даними [16].

Штучні часові затрати

$$T_{шт} = T_o + T_{\delta} + T_{обсл} + T_{відп}, \quad (3.14)$$

де T_o , T_{δ} , $T_{обсл}$, $T_{відп}$ – складові часу затрачувані на процес обробки і підготовку до виробництва, хв.

Оперативні часові затрати

$$T_{оп} = T_o + T_{\delta}. \quad (3.15)$$

Допоміжні часові затрати

$$T_{\delta} = T_{уст} + T_{упр} + T_{вим}, \quad (3.16)$$

де $T_{уст}$, $T_{упр}$, $T_{вим}$ – складові часу затрачувані на процес підготовки заготовки, обладнання і вимірні процеси.

Штучно-калькуляційні часові затрати

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{нз}}{n}, \quad (3.17)$$

де $T_{нз}$ – затрати по підготовці і завершенню виробництва, хв.;

n – число деталей партії, шт.

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi}, \quad (3.18)$$

де N , a , Φ – показники врахування програми виробництва, днів запасу заготовок, робочих днів.

Встановимо часові норми на ту ж операцію для якої визначалися режими оброблення.

Горизонтально-фрезерна з обробки торцевої поверхні.

З таблиці 3.12 $T_o = 1,04$ хв. Нормативи затрачувані на процес підготовки заготовки, обладнання і вимірні процеси [16]:

$$T_{yct} = 0,2 \text{ хв.};$$

$$T_{yup} = 0,12 \text{ хв.};$$

$$T_{вим} = 0,08 \text{ хв.}$$

$$T_{nz} = 18 \text{ хв.};$$

$$N = 50000 \text{ шт.};$$

$$a = 5;$$

$$\Phi = 250.$$

$$T_{\delta} = 0,2 + 0,12 + 0,08 = 0,4 \text{ хв.}$$

$$T_{on} = 1,04 + 0,4 = 1,44 \text{ хв.}$$

$$T_{обс} = 0,04 \cdot 1,44 \approx 0,06 \text{ хв.}$$

$$T_{відн} = 0,04 \cdot 1,44 \approx 0,06 \text{ хв.}$$

$$T_{ум} = 1,04 + 0,4 + 0,06 + 0,06 = 1,56 \text{ хв.}$$

$$n = \frac{50000 \cdot 5}{250} = 1000 \text{ шт.}$$

$$T_{ум.к} = 1,56 + \frac{18}{1000} = 1,58 \text{ хв.}$$

Таблиця 3.13 – Часові нормозатрати обробку корпусу 100.15-017

| Номер опер. | T_o , хв. | Допоміжний, хв. | | | T_o , хв. | $T_{оп}$, хв. | $T_{обс}$, хв. | $T_{відп}$, хв. | $T_{ит.}$, хв. | $T_{пз.}$, хв. | $T_{ит.к}$, хв. |
|-------------|-------------|-----------------|-----------|-----------|-------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | | $T_{уст}$ | $T_{упр}$ | $T_{вим}$ | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 005 | 1,04 | 0,20 | 0,12 | 0,08 | 0,40 | 1,44 | 0,06 | 0,06 | 1,56 | 18 | 1,58 |
| 010 | 0,52 | 0,20 | 0,12 | 0,08 | 0,40 | 0,94 | 0,03 | 0,03 | 1,23 | 18 | 1,31 |
| 015 | 3,06 | 0,35 | 0,12 | 0,11 | 0,58 | 3,84 | 0,19 | 0,19 | 3,96 | 16 | 4,09 |
| 020 | 0,58 | 0,21 | 0,11 | 0,02 | 0,34 | 1,01 | 0,026 | 0,026 | 1,07 | 12 | 1,22 |
| 025 | 1,1 | 0,32 | 0,12 | 0,08 | 0,52 | 1,48 | 0,04 | 0,04 | 1,48 | 14 | 1,56 |
| 030 | 0,36 | 0,20 | 0,12 | 0,08 | 0,40 | 0,80 | 0,03 | 0,03 | 0,52 | 12 | 0,58 |
| 035 | 0,69 | 0,21 | 0,11 | 0,02 | 0,34 | 1,40 | 0,026 | 0,026 | 0,98 | 12 | 1,04 |
| 040 | – | – | – | – | – | – | – | – | 0,45 | 5 | 1,53 |
| 045 | – | – | – | – | – | – | – | – | 1,45 | 12 | 1,74 |

Таблиця 3.14 – Вибір інструменту і засобів контролю корпусу 100.15-017

| № опер. | Назва операції (переходу) | Інструмент | |
|---------|---------------------------|--|---|
| | | різальний | вимірювальний |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 005 | Горизонтально-фрезерна | фреза торцева Ø160 ВК6 ГОСТ 9473 - 80 | штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80 |
| 010 | Горизонтально-фрезерна | фреза торцева Ø160 ВК6 ГОСТ 9473 - 80 | штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80 |
| 015 | Токарна | різець 2102 - 0191 ВК8 ГОСТ 18879 - 73; різець 2102 - 0192 ВК8 ГОСТ 18879 - 73; різець 2102 - 0193 ВК8 ГОСТ 18879 - 73; різець 2102 - 0194 ВК8 ГОСТ 18879 - 73. | штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80; пробка Ø100Н8, Ø90Н9 ГОСТ 14815-69; шаблон 8371-0188 МН 1422 – 61 |

Закінчення таблиці 3.14

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|-------------------------|---|---|
| 020 | Вертикально-свердлильна | свердло Ø28 P18 ГОСТ 10903 - 77 | штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80 |
| 025 | Вертикально-свердлильна | свердло Ø4 P18 ГОСТ 866 - 77; свердло Ø6 P18 ГОСТ 10903 - 77; мітчик K1/8" P8 ГОСТ 5227 - 80 | штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 80; пробка K1/8" ГОСТ 17758 - 72 |
| 030 | Вертикально-свердлильна | свердло Ø12 P18 ГОСТ 10903 - 77 (4 шт.) | калібр на розміщення 8150 - 4952; пробка Ø12 B12 ГОСТ 14823 - 69 |
| 035 | Вертикально-свердлильна | свердло-зенківка Ø7,5 P18 ГОСТ 14953 - 80 (3 шт.); мітчик M8 P18 ГОСТ 3266 - 81 | шаблон 8371 - 0197 МН 1422 - 61 |
| 040 | Слюсарна | напильник 2820 - 0028 ГОСТ 1465 - 80 | — |
| 045 | Кінцевий контроль | — | штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80; пробка Ø100H8, Ø90H9 ГОСТ 14815-69; шаблон 8371-0188 МН 1422 - 61; зразки шорсткості |

Значення кількості верстатів [17]

$$m_p = \frac{T_{ум}}{t_B} . \quad (3.19)$$

Цикл виробництва

$$t_g = \frac{F_{\partial} \cdot 60}{N}, \quad (3.20)$$

де F_{∂} , N – показники врахування годинного ресурсу верстатів і програми виробництва.

$$F_{\partial} = 4015 \text{ год.};$$

$$N = 50000 \text{ шт.}$$

$$t_g = \frac{4015 \cdot 60}{50000} \approx 4,82 \text{ хв.}$$

Кількість верстатів для горизонтально-фрезерних операцій:

$$m_{p \text{ 6P82Г}} = \frac{1,56 + 1,23}{4,82} \approx 0,58$$

– мод. 6P82Г: $m_{п \text{ 6P82Г}} = 1$ од.

Кількість верстатів для токарної операції:

$$m_{p \text{ 1A720}} = \frac{3,96}{4,82} \approx 0,82$$

– мод. 1A720: $m_{п \text{ 1A720}} = 1$ од.

Кількість верстатів для вертикально-свердлильних операцій:

$$m_{p \text{ 2C132}} = \frac{1,07 + 1,48 + 0,52 + 0,98}{4,82} \approx 0,84$$

– мод. 2С132: $m_{\Pi 2C132} = 1$ од.

Середнє значення завантаження верстатної ділянки

$$\eta_{з.ср} = \frac{\sum m_p}{\sum m_{\Pi}}.$$

$$\eta_{з.ср} = \frac{0,58 + 0,82 + 0,84}{3} \approx 0,75.$$

Коефіцієнт експлуатації верстатів по основному часу

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{ум.к}}. \quad (3.21)$$

$$\eta_{o6P82\Gamma} = \frac{1,04 + 0,52}{1,58 + 1,31} \approx 0,54;$$

$$\eta_{o1A720} = \frac{3,06}{4,09} \approx 0,75;$$

$$\eta_{o2C132} = \frac{0,58 + 1,10 + 0,36 + 0,69}{1,22 + 1,56 + 0,58 + 1,04} \approx 0,62.$$

$$\eta_{o.ср} = \frac{\sum \eta_o}{\sum m_{\Pi}}. \quad (3.21)$$

$$\eta_{o.ср} = \frac{0,54 + 0,75 + 0,62}{3} \approx 0,64.$$

Коефіцієнт експлуатації верстатів за потужністю двигуна

$$\eta_{\partial} = \frac{N_e}{N_{\partial}}. \quad (3.22)$$

$$\eta_{\partial 6P82\Gamma} = \frac{2 + 0,31}{7,5} \approx 0,31;$$

$$\eta_{\partial 1A720} = \frac{1,71}{7} \approx 0,24$$

$$\eta_{\partial 2C132} = \frac{1,65 + 0,42 + 0,56 + 0,47}{4} \approx 0,78.$$

$$\eta_{\partial, \text{cp}} = \frac{\sum \eta_{\partial}}{\sum m_{\Pi}}. \quad (3.23)$$

$$\eta_{\partial, \text{cp}} = \frac{0,31 + 0,24 + 0,78}{3} \approx 0,44.$$

Графічні відображення завантаженості верстатів, за коефіцієнтом експлуатації верстатів по основному часу і коефіцієнтом експлуатації верстатів за потужністю двигуна показані на рисунках 3.2; 3.3; 3.4.

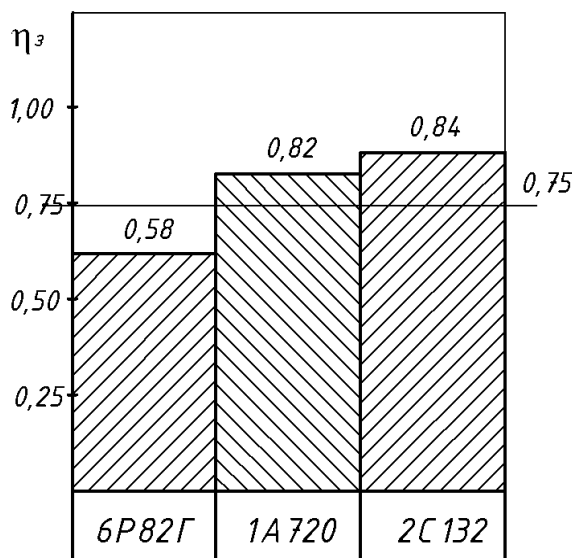


Рисунок 3.2 – Загальна завантаженість верстатів

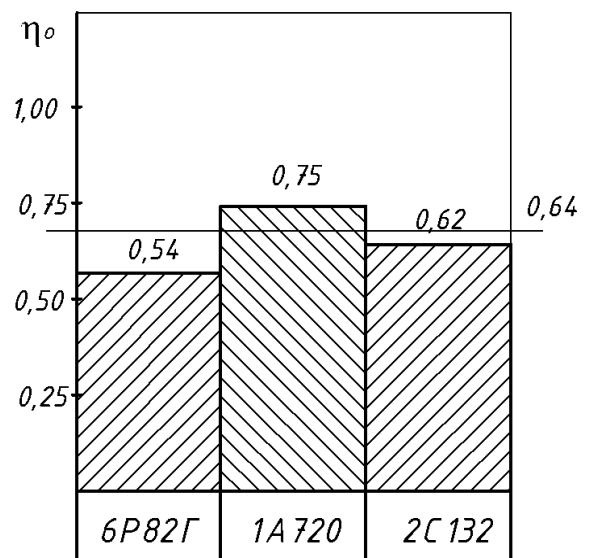


Рисунок 3.3 – Завантаженість по основному часу

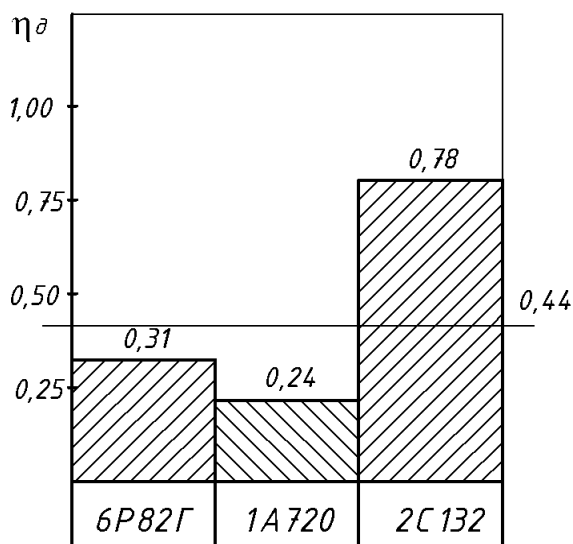


Рисунок 3.4 – Завантаженість за потужністю двигуна

3.4 Вибір і розрахунок оснастки

Для забезпечення точності фрезерування торцевої поверхні корпусу 100.15-017 доцільно застосовувати відповідний пристрій. Оскільки фрезерування є першою операцією маршруту оброблення корпусу і попередньо оброблені поверхні наразі відсутні, то у якості установочної поверхні вибрана зовнішня циліндрична поверхня 20 (позн. згідно рис. 3.1). Метод лиття у металеві форми (кокіль) забезпечує досить високу якість і точність вище вказаної поверхні. Додатковими базувальними і установочними площинами є 17 і 25.

Щодо будови фрезерного пристрою то основою є масивна плита 3 на якій розміщені складові пневмозатиску. Стиснуте повітря із пневмотраси подається на пневморозподільник 1, а згодом на циліндр 2 із штоком, який діє на прихват 6. Даний елемент міститься на стійці 7, яка зафіксована на плиті 3, і може здійснювати коливальний рух за рахунок осі 8 і опори 19. Ручна корекція прихвата здійснюється за допомогою ручки 9. Установочними деталями пристрою є дві призми 4, які встановлені на плиті 3 на штифти 17 і фіксуються гвинтами із шайбами 15, 16.

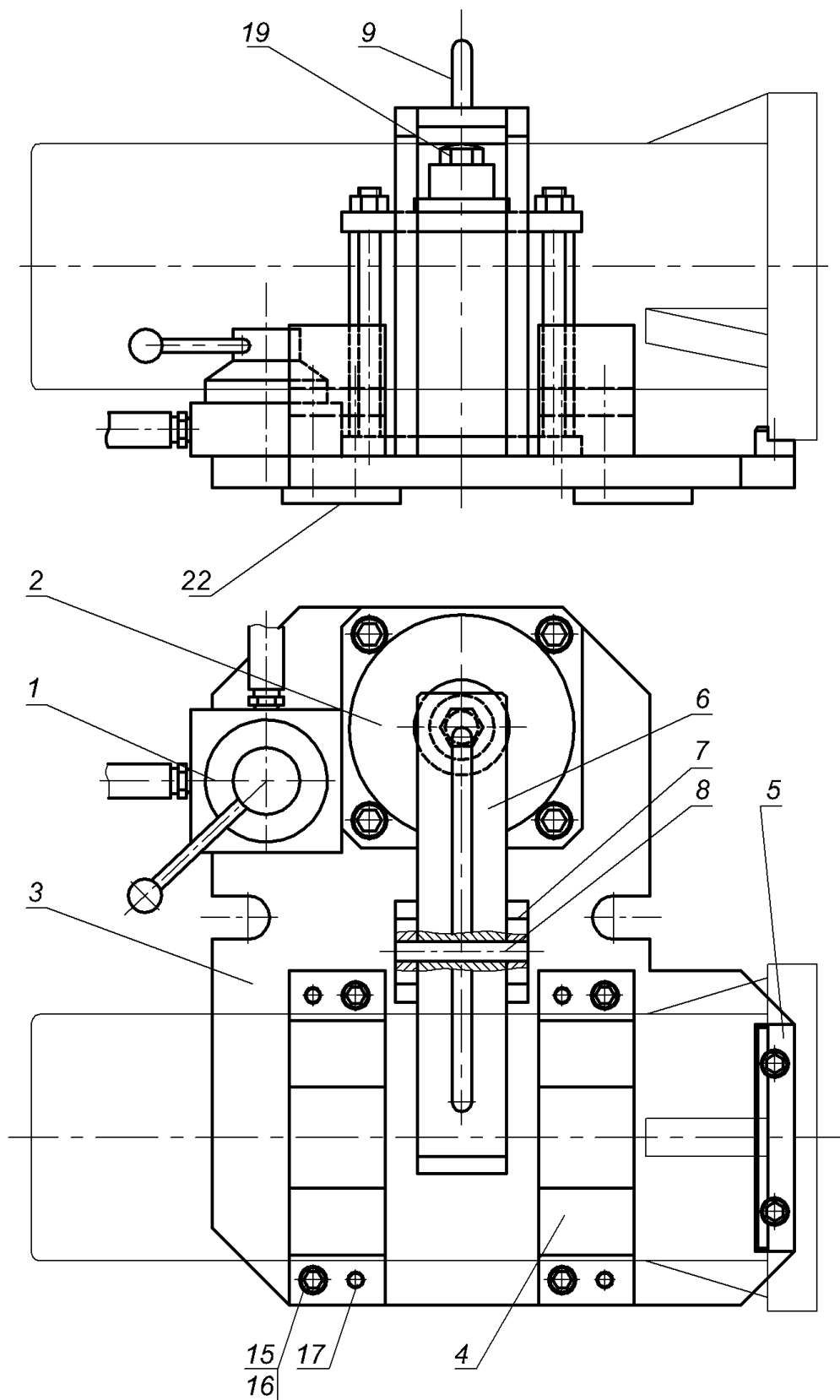


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд фрезерного пристрою:

1 – пневморозподільник; 2 – пневмоциліндр; 3 – плита; 4 – призма;
 5 – пластина; 6 – прихват; 7 – стійка; 8 – вісь; 9 – ручка; 15, 16 – гвинт із
 шайбою; 17 – штифт; 19 – опора; 22 – шпонка

Від поздовжнього переміщення заготовка, крім сили прискування від пневмоциліндра, додаткову блокується установчою пластинкою 5. Для запобігання зміни початковому встановленню пристрою на столі верстата під час фрезерування призначені дві шпонки 22. Кріпиться пристрій до робочого стола фрезерного верстата через відповідні пази плити 3 болтами.

Забезпечувана похибка обробки у пристрої для фрезерування визначена згідно відповідної методики [18]

$$\varepsilon_{np} = \delta - k \sqrt{(k_1 \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{yct}^2 + \varepsilon_{zn}^2 + \varepsilon_{p.i}^2 + (k_2 \omega)^2}, \quad (3.24)$$

де δ , k , ε_{δ} , k_1 , k_2 , ε_3 , ε_{yct} , ε_{zn} , $\varepsilon_{p.i}$, ω – допуски, відхилення, похибки встановлення і виготовлення установчих елементів пристрою, а також коефіцієнти, які враховують умови оброблення.

За вище згаданою методикою [18]:

$$\delta = 0,36 \text{ мм}; k = 1,2; \varepsilon_{\delta} = 0,18 \text{ мм}; k_1 = 0,7; k_2 = 0,6; \varepsilon_3 = 0,1 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{yct} = 0,041 \text{ мм}; \varepsilon_{zn} = 0,04 \text{ мм}; \varepsilon_{p.i} = 0 \text{ мм}; \omega = 0,1 \text{ мм}.$$

$$\varepsilon_{np} = 0,36 - 1,2 \sqrt{(0,7 \cdot 0,18)^2 + 0,1^2 + 0,041^2 + 0,04^2 + (0,6 \cdot 0,1)^2} \approx 0,145 \text{ мм}$$

– точність поверхні забезпечена, $0,240 \geq 0,145 \text{ мм}$.

Згідно виникаючих зусиль підберемо діаметр пневмоциліндра

$$P = Ff + F_1f + F_2f \geq kP_{piz}, \quad (3.25)$$

де F , F_1 , F_2 – зусилля від контакту між елементами пристрою і заготовки;

f – коефіцієнт, що описує властивості матеріалу до ковзких переміщень,

$$f = 0,15;$$

k – коефіцієнт гарантованої міцності.

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (3.26)$$

де $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ – коефіцієнти, які враховують додаткові фактори впливу умов обробки і затиску заготовки.

$$k_1 = 1,01; k_2 = 1,0; k_3 = 1,02; k_4 = 1,0; k_5 = 1,0; k_6 = 1,05.$$

$$k = 1,01 \cdot 1,02 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 1,08.$$

$P_{\text{піз}}$ – силове навантаження при фрезеруванні, $P_{\text{піз}} = 195 \text{ Н}$ (розділ 3.3).

Умова забезпечення затиску від пневматики

$$F = F_1 = F_2 = P \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (3.27)$$

де α – кут нахилу установочних поверхонь призми, $\alpha = 165^\circ$.

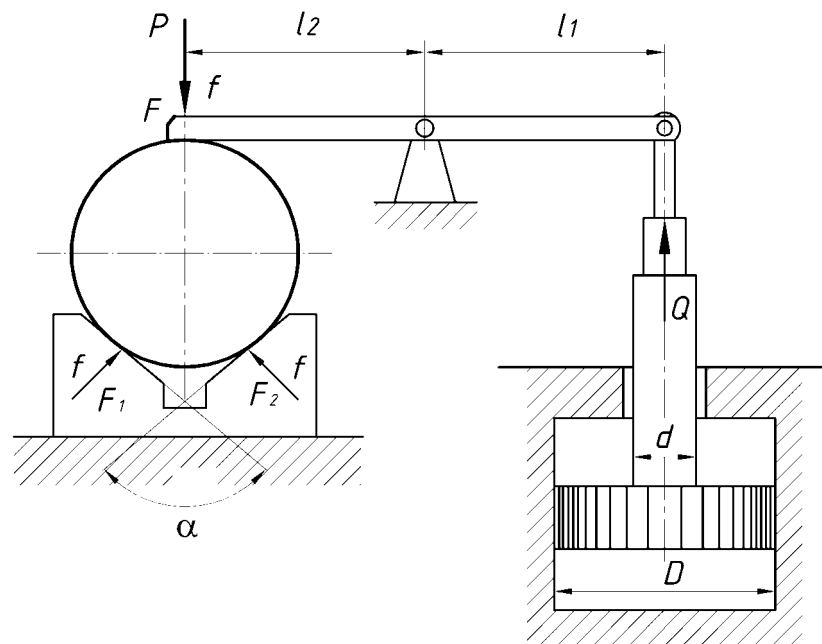


Рисунок 3.6 – Схема дії сил в пристрої для фрезерування торця

$$4P \cdot f \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = kP_{\text{пиз}}. \quad (3.28)$$

$$P = Q \cdot \frac{l_2}{l_1}, \quad (3.29)$$

де l_1, l_2 – довжина плечей прихвата, $l_1 = 0,115$ м, $l_2 = 0,095$ м.

$$4Q \cdot \frac{l_2}{l_1} \cdot f \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = kP_{\text{пиз}}. \quad (3.30)$$

Сила затиску від пневматики

$$Q = \frac{kP_{\text{пиз}}l_1}{4l_2 \cdot f \cdot \cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (3.31)$$

$$Q = \frac{1,08 \cdot 195 \cdot 0,114}{4 \cdot 0,095 \cdot 0,15 \cdot \cos \frac{165^\circ}{2}} \approx 343 \text{ Н}$$

Діаметр циліндра пневмозатиску

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot p} + d^2}. \quad (3.32)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 343}{3,14 \cdot 10} + 4^2} = 7,73 \approx 8 \text{ см} = 80 \text{ мм}.$$

Уніфікований стандартний розмір $D = 80$ мм; $d = 25$ мм [18].

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Захисні споруди і укриття на підприємстві

При визначенні потреб кількості захисних споруд на об'єкті, виходять із кількості найбільшої робочої зміни, розміщення основної маси виробничого персоналу на території об'єкта, умов можливого розміщення захисних споруд, їх місткість, та інші фактори.

Для розрахунку потреб об'єкта в захисних спорудах і їх обладнання необхідні наступні вихідні дані: очікувана потужність вибуху; ймовірне максимальне відхилення центру вибуху від точки прицілу; середня швидкість вітру в районі розміщення об'єкту; азимут вітру; віддалення об'єкта від ймовірного центру вибуху. А також кліматичні умови району розміщення об'єкта (зовнішня температура повітря); загальна кількість робочих і службовців в найбільшій зміні; схема розміщення робочих ділянок на об'єкті і розподіл виробничого персоналу по них: можлива пожежна ситуація на об'єкті (очікувана степінь задимлення) [19].

Загальна місткість захисних споруд повинна відповідати кількості робочих і службовців об'єкта в найбільшій робочій зміні і визначатися загальною сумою місць для сидіння і лежання.

Місця по окремим сховищам розподіляються з врахуванням розміщення робочих ділянок на території об'єкта і кількістю захищених в радіусі збору, як правило, не менше 150 місць для одного сховища. Будувати сховища місткістю менше 150 місць економічно недоцільно. Приміщення для укриттів будують із розрахунку, щоб на одного чоловіка припадало 0,5 м² площі підлоги при двохярусному і 0,4 м² при трьохярусному розміщенні на зовні. Внутрішній об'єм приміщення повинен бути не менше 1,5 м³ на чоловіка.

В приміщеннях для укриття повинна передбачатися установка двох або трьохярусних лавок для сидіння. Нижній ярус – для сидіння із розрахунку

0,45×0,45 м на одну людину, а верхні для лежання із розрахунку 0,55×1,8 м на людину. Висота сходів першого ярусу 0,45 м, лавок другого ярусу – 1,4 м, третього ярусу – 2,15 м від підлоги.

Число місць для лежання складає 20% місткості сховища при двохярусному розміщенні лавок і 30% при трьохярусному.

Пункт управління передбачений тільки на підприємствах з числом робочих в найбільшій зміні 60 чол. і більше. Пункт управління складається із робочої команди зв'язку, його відокремлено від приміщення для укриття вогнестійкою перегородкою з межею вогнестійкості 1 год. Загальне число робочих на пульті управління не повинно перевищувати 10 чол. На окремих пунктах управління число робочих дозволяється збільшувати до 25 чол. Норма площі на одного робочого складає 2 м². Медичний пункт площею 9 м² передбачений в захисних спорудах при чисельності укриття 900-1200 чол. На кожні 100 чол. і більше 1200 чол. площа медпункту збільшується на 1 м². Санітарні пости передбачені в захисному спорудженні площею 2 м² на кожні 500 чол. не менше одного поста на захисне спорудження. Тамбур-шлюз передбачений при одному з входів в сховище місткістю 300 чол. і більше. При цьому в сховищі 300-600 чол. робиться однокамерний а в сховищах більше 600 чол. – двокамерний тамбур шлюзу. Площа кожної камери – 8-10 м². Замість двохкамерного тамбуру шлюзу допускається встановлювати при двох входах однокамерні тамбури шлюзи [19].

В зовнішніх і внутрішніх стінах тамбура-шлюза встановлюються захисно-герметичні двері, які відповідають захисним властивостям сховища.

Фільтровентиляційні приміщення у встановлюються у зовнішніх стін сховища близько входів чи аварійних виходів. Їх розміри визначаються в залежності від габаритів обладнання і площі, необхідної для його обслуговування. В сховищах місткістю до 150 чоловік фільтровентиляційне обладнання виду ФВК-1 допускається розміщення безпосередньо в приміщенні для укриттів.

4.2 Розрахунок штучного освітлення люмінесцентними лампами

Згідно ДніП П-4-79 «Штучне і природне освітлення» норма освітленості для механічного цеху складає $E=300$ Лк [20]. Для розрахунку використовуємо точковий метод розміщення світильників.

Головна задача проектування освітлювального пристрою – це забезпечення заданого рівня освітленості і необхідної якості освітлення при найменшому сумарному світловому потоці. Вирішення задачі залежить від світлорозподілу застосованих світильників і їх розміщення на плані приміщення, що визначається слідуєчи ми розмірами [20]:

$$h_p = h - h_c - h_{pn}, \quad (4.1)$$

де h_p – розрахункова висота;

h_c – висота звісу, $h_c=2$ Д.

h_{pn} – висота робочої поверхні; $h_{pn}=0,8$ м.

$$h_p = 6 - 2 - 0,8 = 3,2 \text{ м}$$

Світловий потік $\Phi=2300$ лм [20].

Розраховуємо освітленість в контрольній точці А робочої поверхні

$$a = \sqrt{b^2 + n^2} = \sqrt{2,5^2 + 5^2} = 5,5. \quad (4.2)$$

$$\alpha = \arctg \frac{a}{h_p} = \arctg \frac{5,5}{3,2} = 60,2^\circ. \quad (4.3)$$

де α – кут між віссю світильника і розрахунковою точкою.

По кривих ізольокс для люмінесцентної лампи при 60° крива сили світла $KCC = 75$. Сила світла будь-якого світильника, що визначається по кривих світлорозподілу

$$I_\alpha = 10 \cdot \Phi \cdot KCC. \quad (4.3)$$

$$I_\alpha = 10 \cdot 2,3 \cdot 75 = 1725 \text{ Кд}$$

Сумарна умовна освітленість

$$\sum_{i=1}^{i=n} e_i = 10 \cdot \frac{I_{\alpha i} \cdot \cos^3 \alpha_1}{h_{p1}^2}, \quad (4.4)$$

де n – кількість світильників, в кожному з яких встановлена умовна лампа зі світловим потоком 1000 лм, $n = 10$.

$$\sum_{i=1}^{i=n} e_i = 10 \cdot \frac{1725 \cdot \cos^3 60}{3,2^2} = 210,5 \text{ Лк.}$$

Коефіцієнт запасу $K = 1,5$. З відповідних табличних даних [20] вибираємо коефіцієнт додаткової освітленості $\mu = 1,15$. Освітленість у контрольній точці

$$E = \frac{\Phi_n}{1000} \cdot \frac{\mu}{K} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} e_i, \quad (4.5)$$

де Φ_n – фактичний світловий потік, $\Phi_n = 2300$ Лк.

$$E = \frac{2300}{1000} \cdot \frac{1,15}{1,5} \cdot 210,5 = 371 \text{ Лк}$$

- що задовольняє вимоги охорони праці.

ВИСНОВКИ

За результатами опрацювання завдань кваліфікаційної роботи магістра:

- проведено аналіз існуючих споріднених витих гнучких валів і на їх основі встановлено раціональну конструкцію із змінною жорсткістю пружного елемента;

- вдосконалено методологію розрахунку діаметральних розмірів пакету пружин пружного елемента валу із аналізом зміни їх лінійних і діаметральних характеристик;

- встановлено вплив на основні параметри пружного елемента витого валу зі сторони обертового навантаження та наведено практичні рекомендації;

- розроблено технологічний процес відповідно до специфіки конструкції і технічних вимог до корпусу 100.15.-017;

- вибрано раціональний метод одержання заготовки із вдосконаленням її конструкції з метою підвищення коефіцієнта використання матеріалів;

- для підвищення продуктивності механічного оброблення спроектовано відповідні пристосування для відповідальних технологічних операцій;

- запропоновано рекомендації з облаштування захисних укриттів на підприємстві і методику розрахунку освітлення на механічній ділянці для дотримання вимог охорони праці на виробництві.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Механізми з гвинтовими пристроями / Гевко Б. М., Данильченко М. Г., Рогатинський Р. М. та ін. – Львів.: Світ, 1993. – 208 с.
2. Shafts - General information : веб сайт. URL: [https://www.fiama.it/en/trasmissioni-flessibili-e-supporti/170/flexible-semi-rigid-shafts - couplings.html](https://www.fiama.it/en/trasmissioni-flessibili-e-supporti/170/flexible-semi-rigid-shafts-couplings.html) (дата звернення: 20.10.2023).
3. Transmission-flexible : веб сайт. URL: <https://lelong-cie.com/www.lelong-cie.com/indexf382.html?materiel=transmission-flexible&r=20> (дата звернення: 20.10.2023).
4. Simplaflex-spring-coupling : веб сайт. URL: <https://www.lenze-selection.com/en-fr/products/couplings-and-shaft-and-flange-couplings/flexible-couplings-and-jaw-and-bolt-couplings/simplaflex-spring-coupling> (дата звернення: 20.10.2023).
5. MM Models : веб сайт. URL: [https://www.mikipulley.co.jp/EN/Products /FlexibleCouplings/BAUMANNFLEX/MM/index.html](https://www.mikipulley.co.jp/EN/Products/FlexibleCouplings/BAUMANNFLEX/MM/index.html) (дата звернення: 20.10.2023).
6. ZG/LM Models : веб сайт. URL: <https://www.mikipulley.co.jp/EN/Products /FlexibleCouplings/BAUMANNFLEX/ ZG/LM /index.html> (дата звернення: 20.10.2023).
7. MF Models : веб сайт. URL: <https://www.mikipulley.co.jp/EN/Products /FlexibleCouplings/BAUMANNFLEX/MF/index.html> (дата звернення: 20.10.2023).
8. Flexible shafts : веб сайт. URL: [https://www.directindustry.com /prod/asahi-intecc/product-214603-2231289.html](https://www.directindustry.com/prod/asahi-intecc/product-214603-2231289.html) (дата звернення: 20.10.2023).
9. Пат. 43160А Україна, МПК F16D3/72. Пружно-компенсуюча муфта / Р.В. Комар. – №2001031831; Заявл. 20.03.01; Опубл. 15.11.01. Бюл. №10. – 3 с.
10. М. С. Бутинський, Р. В. Комар. Виті гнучкі вали змінної жорсткості : Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-

практ. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. С.46.

11. Гевко Б. М., Комар Р. В., Клендій В. М., Навроцька Т. Д. Розрахунок гнучких валів гвинтових механізмів / Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». Вип 5. Луцьк : ЛНТУ, 2014. С. 22-28.

12. Бялік О. М., Черненко В. С., Писаренко В. М., Москаленко Ю. Н. Металознавство : підручник. Київ : Політехніка, 2018. 384 с.

13. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.

14. Боженко Л. І. Проектування та виробництво заготовок : підручник / Л. І. Боженко. – Львів : Світ, 1996. – 368 с.

15. Пилипець М. І., Комар Р. В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : метод. вказівки. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 58 с.

16. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

17. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Проектування машинобудівних виробництв» зі спеціальності 131 Прикладна механіка для підготовки освітнього рівня «магістр» / Укладачі : Комар Р.В., Окіпний І.Б., Сенчишин В.С. Тернопіль : 2022. 42 с.

18. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань : навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.

19. Франчук В. С. Цивільна оборона : навч. посіб. Вид. 2-ге, доп. Львів : Афіша, 2001. 336 с.

20. Пістун І. П. Трунова І. О., Стець Р. Є. Охорона праці в галузі машинобудування : підручник. Суми : Университетская книга, 2011. 557 с.