

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»**

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

другий (магістерський)
(освітньо-професійний рівень)

на тему Удосконалення технологічного процесу виготовлення
плунжера 352.15.02.03 шляхом застосування
високопродуктивних інструментів та оснастки

Виконав: студент II курсу, групи ТМ.мдн-01к
спеціальності: _____

131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми: _____

«Технології машинобудування»
(назва освітньої програми)

Олег БОЙКО
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник Артем ЄВТУХОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент Сергій БОНДАРЕВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Суми – 2021 року

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Інститут, факультет Кафедра	<u>ЦЗДВН</u> <u>технології машинобудування, верстатів та інструментів</u>
Освітньо-науковий рівень	<u>другий (магістерський)</u> (назва)
Спеціальність	<u>131 «Прикладна механіка»</u> (шифр і назва)
Освітня програма	<u>«Технології машинобудування»</u> (назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів

Віталій ІВАНОВ

« » 2021 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ

Бойко Олег Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Удосконалення технологічного процесу виготовлення плунжера 352.15.02.03 шляхом застосування високопродуктивних інструментів та оснастки

керівник проєкту Євтухов Артем Віталійович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.11.2021 року № 0910-VI

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) 10.12.2021 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) _____

3.1 Робоче креслення деталі «плунжер 352.15.02.03».

3.2 Річний обсяг випуску деталей – 1200 шт.

3.3 Базовий технологічний процес виготовлення деталі «плунжер 352.15.02.03».

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

4.1 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «плунжер 352.15.02.03»

4.2 Розроблення нового технологічного процесу виготовлення «плунжера 352.15.02.03»

4.3 Дослідження впливу параметрів вставок торцевих фрез на якість оброблення

4.4 Висновки щодо спроектованого технологічного процесу виготовлення

«плунжера 352.15.02.03» та наукових досліджень

4.5 Питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях

4.6 Додатки (розрахунок припусків, специфікація, креслення)

5. Зміст графічної частини (перелік креслень, що потрібно розробити)

5.1 Креслення заготовки «плунжера 352.15.02.03»

5.2 Креслення маршруту обробки «плунжера 352.15.02.03»

5.3 Креслення операційного налагодження для свердлильної операції

5.4 Креслення верстатного пристрою для фрезерної операції

6. Інша конструкторська або технологічна документація

Комплект документації на технологічний процес виготовлення
«плунжера 352.15.02.03»

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання « 02 » 09 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «плунжер 352.15.02.03»		
2	Розробка нового технологічного процесу виготовлення деталі «плунжер 352.15.02.03»		
3	Дослідження впливу параметрів вставок торцевих фрез на якість оброблення		
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		
5	Оформлення пояснювальної записки		
	Оформлення комплекту технологічної документації		
	Оформлення креслень		
	Оформлення презентації		

Студент

_____ (підпис)

Олег БОЙКО

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи (проєкту)

_____ (підпис)

Артем ЄВТУХОВ

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ *Віталій ІВАНОВ*

«_____» _____ 2021 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення
плунжера 352.15.02.03 шляхом застосування високопродуктивних
інструментів та оснастки**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Олег БОЙКО

Керівник

Артем ЄВТУХОВ

Нормоконтроль

Олександр ІВЧЕНКО

РЕФЕРАТ

Записка: 109 с., 20 табл., 19 рис., 9 додатків, 47 джерел.

Об'єкт розроблення – деталь «Плунжер 352.15.02.03», яка входить до складу насосного агрегату АВПл-90.

В даній кваліфікаційній роботі за освітньо-професійним рівнем магістра було проаналізовано службове призначення виробу, вузла і деталі, а також технічні вимоги з показниками технологічності конструкцій деталі. Було обгрунтовано вибір способу отримання заготовки литвом, було розраховано припуски на механічне оброблення отвору $\varnothing 185H8$.

Для операцій 020 токарно-гвинторізної та 095 фрезерної проведені аналіз та обгрунтування схеми базування заготовки; обгрунтовано вибір металорізальних верстатів, верстатного пристрою, різального і вимірювального інструменту; були проведені розрахунки режимів різання і нормування розглянутих двох операцій.

Спроековано спеціальний механізований пристрій для горизонтально-фрезерної операції. Було досліджено впливи геометрії калібруючих кромки різальних ножів торцевих фрез на якість оброблення поверхонь плунжерів.

Оформлені карти ВТД, ТА, МК, ОК, КЕ технологічного процесу оброблення деталі «Плунжер 352.15.02.03».

ПЛУНЖЕР, ЗАГОТОВКА, АНАЛІЗ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, ПРИСТРІЙ, ТИП ВИРОБНИЦТВА, КАЛІБРУЮЧА КРОМКА, ІНСТРУМЕНТ, ОХОРОНА ПРАЦІ

РЕФЕРАТ

Записка: 109 с., 19 рис., 20 табл., 9 приложений, 47 источников.

Объект разработки – деталь «Плунжер 352.15.02.03», входящая в состав агрегата насосного АВПл-90.

В приведенной квалификационной работе по образовательному уровню магистра было проанализировано служебные назначения машины, узла, детали, технические требования и показатели технологичности конструкции рассматриваемой детали. Обоснован выбор способа получения заготовки литьем, рассчитаны припуски для обработки диаметра отверстия 185Н8.

Для двух рассматриваемых операций 020 токарно-винторезной, а также 095 фрезерной, проведен анализ и обоснование схем базирования заготовки; обоснованы металлорежущие станки, приспособления, применяемый режущий и мерительный инструменты; определены режимы резания и нормирование рассматриваемых операций.

Спроектировано специальное механизированное приспособление для горизонтально-фрезерной операции. Исследовано влияние геометрии калибрующих кромок режущих ножей торцовых фрез на качество обработки поверхностей плунжеров.

Оформлены карты ВТД, ТЛ, МК, ОК, КЭ технологического процесса обработки детали «Плунжер 352.15.02.03».

ПЛУНЖЕР, ЗАГОТОВКА, АНАЛИЗ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ, ПРИСПОСОБЛЕНИЕ, ТИП ПРОИЗВОДСТВА, КАЛИБРУЮЩАЯ КРОМКА, ИНСТРУМЕНТ, ОХРАНА ТРУДА

SUMMARY

Report: 109 pages, 20 tables, 19 pictures, 47 sources, 9 additions.

The object of researching is part «Plunger 352.15.02.03», which is part of the pumping unit ABPI-90.

In the given diploma project on the educational and qualification level of the master, the official purpose of the product, unit and part, as well as technical requirements and technological indicators of the part design are analyzed. The choice of the method of obtaining the initial blank by casting was justified, machining allowances were calculated $\varnothing 185H8$.

For operations screw-cutting 020 and milling 095, an analysis and justification of the workpiece basing scheme were carried out; choice of cutting machines, machine tools, cutting and measuring tools is justified; the cutting conditions were calculated and operations were normalized.

A special fixture for milling operation was designed. The influence of the geometry of the calibrating edges of the knives of the face mill cutters on the quality of surface treatment of the plungers was investigated.

The cards VTD, TL, MK, KE, OK of the technological process of manufacturing of the «Plunger 352.15.02.03» are issued.

PLUNGER, STAMPED BLANK, ANALYSIS, TECHNOLOGICAL PROCESS, TECHNOLOGY, FIXTURE, PRODUCTION TYPE, CALIBRATING EDGE, TOOL, LABOR PROTECTION

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	7
1.1 Аналіз службового призначення виробу, плунжера. Опис їх конструктивних особливостей й умов експлуатації	8
1.2 Аналіз технічних умов й вимог до конструкції плунжера. Визначення технологічних завдань щодо його виготовлення	14
1.3 Заданий тип виробництва та форма його організації	15
1.4 Аналіз технологічності деталі	17
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення плунжера	21
1.6 Висновки с завданнями для удосконалення розроблення технологічного процесу виготовлення плунжера	23
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛУНЖЕРА	24
2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення плунжера	24
2.2 Вибір з обґрунтуванням методу виготовлення заготовки	26
2.3 Розрахунок припусків на оброблення $\varnothing 185$	30
2.4 Призначення і обґрунтування схем базування та закріплення плунжера	32
2.5 Обґрунтування й вибір металорізальних верстатів	37
2.6 Обґрунтування й вибір верстатних пристроїв, різального і вимірювального інструментів	39
2.7 Розрахунок режимів різання	42
2.8 Технічне нормування технологічних операцій	50
2.9 Проектування спеціального верстатного пристрою	56

3	ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗАЛЬНИХ ВСТАВОК ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ НА ЯКІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ ПЛОЩИН ПЛУНЖЕРІВ	64
	ВИСНОВКИ	68
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ	70
	ДОДАТОК А Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	75
	ДОДАТОК Б Матеріали публікації тез конференції	97
	ДОДАТОК В Розрахунок припусків на обробку D185	100
	ДОДАТОК Г Специфікація	101
	ДОДАТОК Д Розрахунок сили закріплення в пристрої	104
	ДОДАТОК Е Креслення заготовки	105
	ДОДАТОК Ж Креслення маршруту обробки плунжера	106
	ДОДАТОК З Креслення налагодження	107
	ДОДАТОК К Креслення верстатного пристрою для фрезерування	108
	ДОДАТОК Л Креслення «Плунжер 352.15.02.03»	109

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування,
верстатів та інструментів

ВСТУП

Технологія машинобудування є головним фундаментом розвитку економіки країни. На цей час проглядається залежність рівня життя населення від науково-технічного прогресу, що надає можливість в забезпеченні ефективних високопродуктивних методів обробки різноманітних поверхонь деталей в машинобудуванні. Важливим є те, що найбільший вплив на подальший розвиток різних галузей машинобудування має підвищення рівня наукової складової досліджень в техніці.

Важливими напрямками сучасного розвитку науки є теорія обробки матеріалів, моделювання технічних систем. Існуюче на сьогодні господарство вимагає від усіх подальшого зростання ролі промислового машинобудування в кардинальному піднятті матеріальної бази економіки. Це можливо тільки при підвищенні якості виробів і з найменшою собівартістю виготовленої продукції. На базі досягнень фундаментальних наук повинні розвиватися новітні технології в машинобудуванні з розробки найоптимальніших процесів механічної обробки, з управління технологічними процесами, із всеосяжної автоматизації промислових виробництв. Це безперечно потребує застосувань сучасних технологічних методів підвищення експлуатаційної якості виробів машинобудування та подальшого розвитку обчислювальної техніки, що можливо тільки при високому рівні знань випускників технічних університетів.

Актуальність проблеми. В насособудуванні для виробництва цілої низки насосів використовується деталь типу «плунжер». Відомо, що насособудування є однією з найважливіших галузей машинобудування, тому до деталей «плунжер» пред'явлено високі вимоги з якості оброблення, з шорсткості оброблення поверхонь. Як показує життя, при проектуванні нових технологічних процесів оброблення і виконанні вищезгаданих вимог не можна обійтися без застосування сучасних ефективних верстатів з ЧПК, без промислових роботів та автоматизованих виробництв. Тому

впровадження у виробництво новітніх досягнень науки та техніки дозволить фактично здійснити не тільки всебічне зростання промислового виробництва, а ще й підвищити ефективність праці, що сприятиме покращенню рівня життя населення нашої країни. Тому дослідження, що розглядаються в наданій науково-дослідній роботі за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістра, надають таку можливість для вирішення поставлених завдань та є досить актуальними.

Зв'язок магістерської роботи з науковою програмою, темою, планами. Тема магістерської роботи пов'язана з одним з наукових напрямів досліджень кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ, яка містить розроблення та вдосконалення технологічних процесів, номер державної реєстрації №0116U000933.

Об'єкт дослідження - це технологічний процес виготовлення «Плунжера 352.15.02.03».

Предметом дослідження є деталь «Плунжер 352.15.02.03» виробу «Агрегат АВПл-90».

Мета дослідження – це удосконалення технологічного процесу виготовлення «Плунжера 352.15.02.03».

Завдання досліджень:

- аналіз існуючих технологічних процесів виготовлення різних плунжерів і виявлення оптимального варіанта удосконаленого технологічного процесу;
- обґрунтування методів підвищення ефективності та продуктивності розробляемого технологічного процесу;
- розробка конструкції нового верстатного пристрою, що забезпечить високу продуктивність та якість оброблення «Плунжера 352.15.02.03».

Методи дослідження:

- проведення аналізу конструкцій та технологій, що існують, подальше узагальнення та систематизація отриманої в результаті аналізу інформації;

- синтез конструкцій технологічного оснащення та удосконаленого технологічного процесу на основі проведеного теоретичного аналізу;
- комп'ютерне моделювання;
- якісний і кількісний аналіз результатів, що отримані при дослідженнях.

Наукова новизна:

- було визначено, що удосконалення техпроцесу виготовлення «Плунжера 352.15.02.03» реалізується розробкою спеціального верстатного пристрою для фрезерної операції;
- було визначено, що похибка форми калібруючої кромки різальної вставки фрези може бути виражена відхиленням точок калібруючої кромки різальної вставки відносно прилеглої прямої. Величина цієї похибки визначається величиною непрямолінійності та величиною субмікронерівностей, що утворені в результаті заточки по заднім і переднім поверхнях вставки;
- було визначено, що прямолінійна калібруюча кромка різальної вставки, яка утворена при перетині плоских поверхонь, здебільшого має шорсткість кромки меншої величини, ніж циліндрична-радіусна кромка різальної вставки і це є важливим при конструюванні інструмента (наприклад, фрез) для оброблення поверхонь з необхідною шорсткістю $Ra = 0,32-0,63$ мкм або менше.

Практичне значення отриманих результатів досліджень. Отримані результати проведених досліджень рекомендуються до використання на машинобудівних підприємствах та фірмах з металообробки.

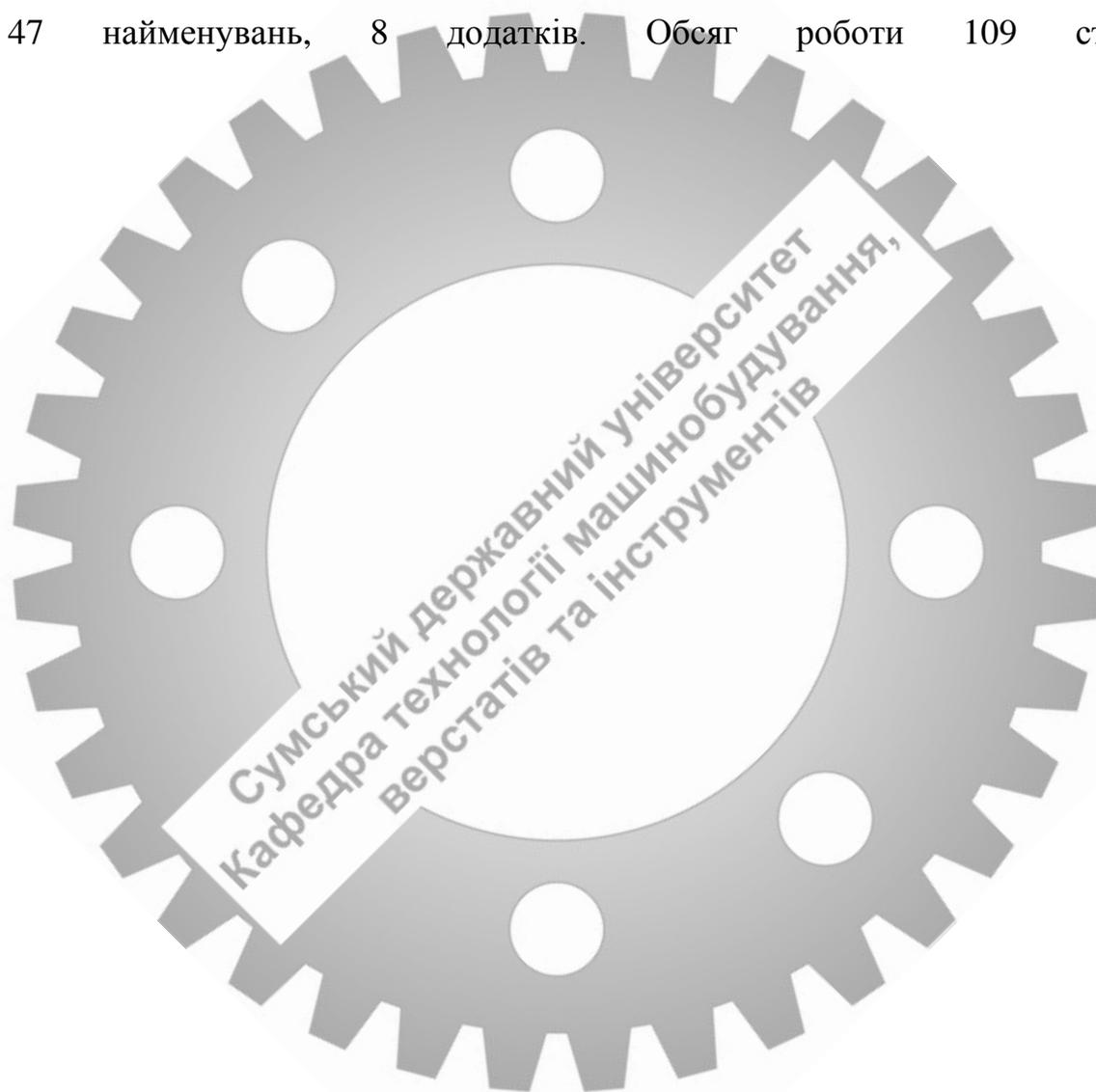
Власний внесок здобувача у дослідження. Результати досліджень в роботі було отримано здобувачем спільно з його науковим керівником.

Апробація результатів дослідження: Матеріали магістерської роботи апробовані на 27-й науково-практичній конференції (24-26 листопада 2021 р.) «Технологія XXI століття» у виші СНАУ (м. Суми).

Публікацією є тези конференції [32] (див. додаток Б):

Бойко, О.О. Функціональний підхід при проектуванні верстатних пристроїв /П.В.Кушніров, А.В.Євтухов, Д.Ю.Макаренко, О.О.Бойко//Технології ХХІ сторіччя: Збірник тез 27-ої міжнародної науково-практичної конференції (24-26 листопада 2021 р.). Ч.1. – Суми: СНАУ, 2021.– С. 172-173.

Структура магістерської роботи: вступ, 3 розділи, перелік посилань з 47 найменувань, 8 додатків. Обсяг роботи 109 сторінок.



1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення машини, плунжера. Опис їх конструктивних особливостей й умов експлуатації

Агрегат плунжерний вакуумний типа АВПл-90 є виробом, в який входить задана деталь «Плунжер 352.15.02.03». Цей агрегат призначено для відкачування різних неагресивних газів або повітря, деяких парогазових сумішей, що попередньо очищаються від крапельних волог та забруднень. Використовують його також в герметичних системах вакуума в стаціонарних машинах, в приміщеннях з температурою +11 до +34°C (281-305K). Такі агрегати є непридатними для відкачувань деяких особливих середовищ, а саме: отруйних, вибухонебезпечних, вступаючих в хімічні реакції з мастилами та роз'їдаючі чорний метал, і також з метою перекачувань середовищ з однієї в іншу технічну ємності. АВПл-90 випускають у кліматичному виконанні УХЛ, з категорією розміщень 4.2 по ГОСТ 15051-91. Літери і цифри з умовного позначення агрегата АВ Пл-90 означають таке:

- А – означає «агрегат»;
- В – означає «вакуумний»;
- Пл – означає «плунжерний»;
- 90 – означає «швидкість дії», л/с;

В таблиці 1.1 подано основні технічні характеристики насоса АВ Пл-90.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики насоса АВПл-90

Основні технічні характеристики	Значення
1	2
Швидкість дії при атмосферних тисках до 0,23 кПа (3,1 мм. рт. ст.), л / с	90
Залишковий граничний тиск, не більше, кПа (мм. рт. ст.):	$6,3 \cdot 10^{-3}$

Продовження таблиці 1.1

1	2
Рідина робоча	Масло вакуумн. ВМ-2 по ГОСТ 36.03405-88
Тиск пару шайбільший, кПа (мм. ртут. ст.)	3,3 (25)
Вхідний тиск найбільший, кПа (мм. ртут. ст.)	22 (154)
Робочий тиск найбільший, кПа (мм. ртут. ст.)	22 (154)
Потужність споживана, кВт	11,5
Кількість заправки масла (л), не менш	3,6
Потужність питома, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{с}}{\text{л}}$, не більш	0,13
Система охолодження	Повітряна
Частота обертання вала, С^{-1} (об/хвил.)	11,81±0,33 (774 ± 22)
Температура робочої рідини найбільша, °Кельвіна (°С)	351 (81)
Ремінь по ГОСТ 1281.4-89	А
Тип передачі	Клиноремінний
Питома маса, у кг/л·с	8,78
Ресурс середній до кап. ремонту (години), не менш	9000
Напрацювання встановлене безвідмовне, години	325
Маса агрегата у кг, не більш	178
Термін зберігання встановлений, у роках	0,6
Напрацювання середнє на відмову, години, не менш	1255

До складу агрегата входить насос (рисунок 1.1), двигун, що змонтований на базі, маслобак. Обертальний рух передають від двигуна до насосу за допомогою клинопасової передачі. Необхідний натяг ременів забезпечують натяжними гвинтами. Рухомі шківни насосу та двигуна після їх встановлення та закріплення агрегату закривають запобіжною огорожею.

Масловідділювач 7 встановлюють зверху на корпусі насосу. Вихідний патрубок маслоохолоджувача з вхідним патрубком насосу закривають заглушками. Вузлом, до якого входить наша деталь плунжер, є насос (див. рисунок 1.2). Сам насос складається з таких деталей та складальних одиниць-вузлів: корпусу 1, задньої та передньої кришек 2 та 3, вала 4, напрямних 7 та 8, ексцентриків 5 та 6, плунжерів 9 й 10, клапанів 12 й 13, маховика-шківни 11, маслоохолоджувача 15, кришек 16 й 18, підшипника 19, манжет 17 й 20,

вікна оглядового 23, трубка забірна 21, шайба шківна 25, ущільнювачів 22 й 26, пробок 24 й 27, маслопроводів 29, болта 28. Перегородкою корпус насоса розділено на дві камери, де міститься роторний механізм насоса.

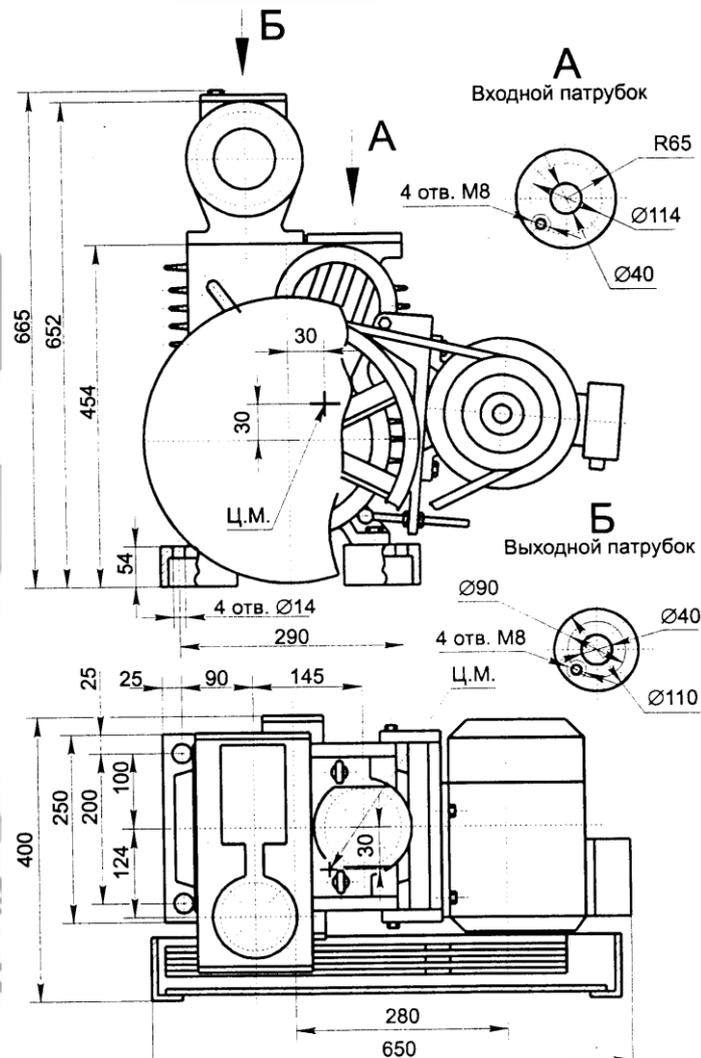


Рисунок 1.1 – Виріб (агрегат АВ Пл-90)

Розглянута деталь «Плунжер 352.15.02.03» (див. поз. 9 на рис. 1.2) входить до складу насоса агрегату АВ Пл-90. За одне обертання плунжером валу цикл відкачування середовища такий: при обертанні ексцентрик плунжер буде стискати середу, яка знаходиться в роторних камерах з боків клапанів. Отримане стиснене середовище буде відкривати випускні клапани й через клапанні камери і масловідділювачі воно буде виходити в трубопровод, а далі - в навколишнє середовище. Одночасно з інших боків

плунжера в розріджений простір через вікно у хвостовій частині плунжеру надходить перекачуєма середа через входні камери. У другій роторної камері відбувається точно такий самий робочий цикл, але з відставанням (випередженням) на 180° від попереднього.

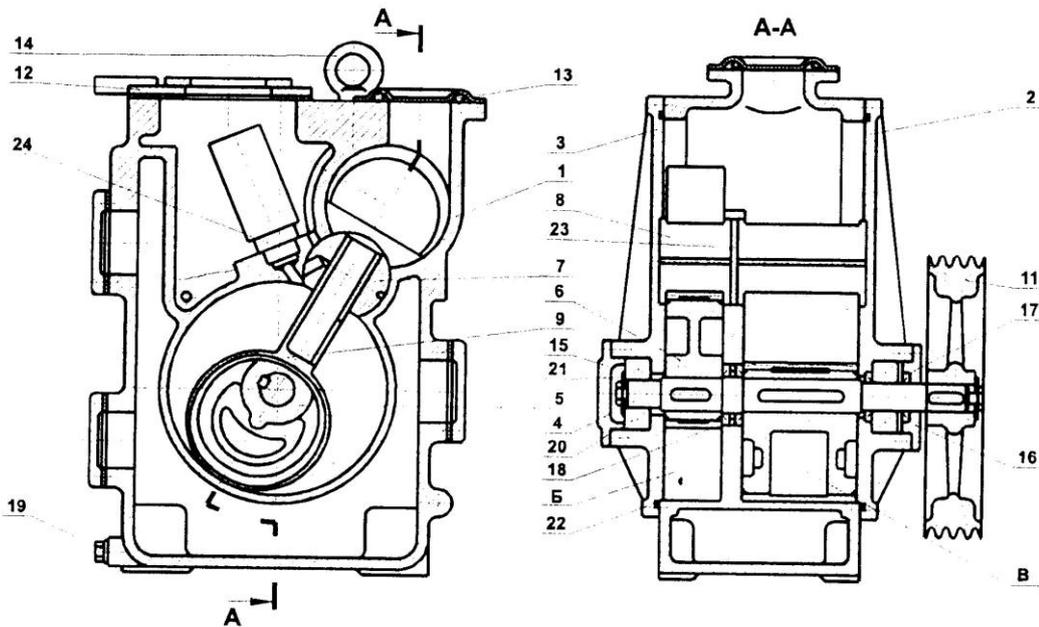


Рисунок 1.2 – Креслення вузла насоса

Направлення прямокутної частини плунжерів (хвостовиків) направляючими відбувається при русі. Відокремлюється входна порожнина насоса від роторної камери, при цьому напрямна – це циліндр з прямокутними вікнами, в які входить по посадці з зазором прямокутна частина плунжера.

Крім хвостовика плунжер має і циліндричну частину, нею плунжер надягають на ексцентрик, при цьому циліндрична частина плунжера при обертанні ексцентрика здійснює планетарний рух відносно осі вала. Сам плунжер не торкається стінок роторної камери, а тільки проходить повз них з необхідним проміжком. Тому прямокутна частина плунжера здійснює досить складний рух відносно своєї осі.

Деякі поверхні, що належать деталі «Плунжер 352.15.02.03» ми бачимо на рисунку 1.3. Тут основними конструкторськими базами будуть поверхні №№3, 1, 2, 4, які утворюють прямокутний хвостовик плунжера, що встановлений у прямокутний отвір напрямних насосу. Ці поверхні умарно будуть позбавляти плунжера п'яти степенів волі, залишаючи тільки одне можливе переміщення - уздовж поздовжньої осі хвостовика. Маємо аналогію із подвійною направляючою базою, і зважаючи на прямокутні конфігурації деталі (а не круглої), плунжер є позбавлений й обертання навколо поздовжньої осі хвостовика плунжеру).

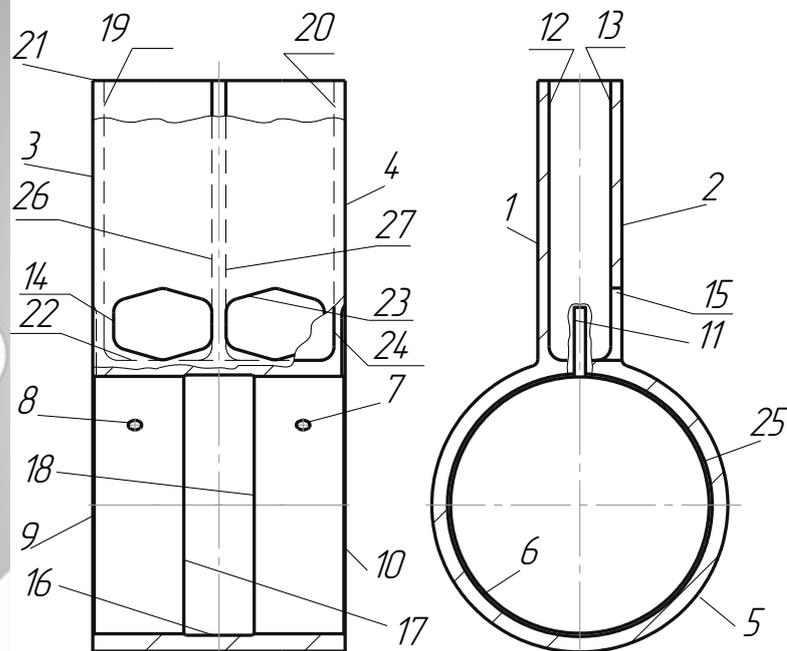


Рисунок 1.3 – Поверхні плунжеру 352.15.02.03

Поверхня 5, що є зовнішньою циліндричною, відповідно до принципу роботи, не торкається стінки роторних камер насосу і проходить від них із зазором 0,30 мм. І поверхнею, що позбавлятиме плунжер шостої степені волі - переміщення уздовж осі - буде поверхня циліндричного отвору №6, за якою плунжер встановлюють в ексцентрик, ця поверхня буде опорною базою. Маємо, що плунжер у вузлі позбавляють шести степенів волі. Виходячи з

класифікації баз, ці поверхні №№1, 2, 3, 4, 5 та 6 називаються основними конструкторськими базами, тому що їми плунжер встановлюють у насосі.

К допоміжним конструкторським базам відносять поверхні отворів $\varnothing 5$ (№№7 й 8), які слугують для приєднування допоміжних деталей до плунжера.

Виконавчі поверхні - за допомогою котрих наш плунжер реалізовує свої службові призначення, це поверхні №№9, 10, 6, 5.

Вільні поверхні - №№14, 25, 24, 27, 11, 26, 12, 16, 13, 23, 15, 22, 17, 19, 21, 18, 20, оскільки вони не контактують з іншими елементами у насосі.

Таблиці 1.2 й 1.3 показують відповідності та матрицю зв'язків при базуванні плунжера у насосі.

Таблиця 1.2 - Таблиця відповідностей

Кількість зв'язків	Степінь свобод	
1, 2 та 3	VI, IV та II	У Баз
5 та 4	I та V	Н Баз
6	III	О Баз

Таблиця 1.3 - Матриця зв'язків деталі у вузлі

	X	Y	Z	
1	0	1		Встановча База
α	1	0	1	
1	1	0	0	Напрямна База
α	0	1	0	
1	0	0	1	Опорна база
α	0	0	0	

1.2 Аналіз технічних умов й вимог до конструкції плунжера. Визначення технологічних завдань щодо його виготовлення

Зробимо наступні висновки виходячи з тієї інформації, що є наявною на кресленні нашої деталі «Плунжер 352.15.02.03». Плунжер представлено в достатній кількості виносних елементів, видів, розрізів. Всі розміри представлено у необхідній й достатній кількості, але не завжди враховуючи ряд чисел що рекомендовано (52, 43, 410, 146, 77, 105, 65, 102).

Маємо допуск перпендикулярності $T=50$ мкм, його наведено на кресленні плунжера, це відповідає значенню згідно з ГОСТом 24645-89. Проте допуск паралельностей 50 мкм при розмірі 60 мм згідно з ГОСТом 24645-89 є невірним, бо найближчим меншим значенням є 40 мкм, а найближче більше значення - 60 мкм. То ж саме стосується допуска симетричності $300,0$ мкм по ГОСТ 24645-89, а саме 250 мкм чи 400 мкм.

Кілька допусків лінійних розмірів, проставлених на кресленні плунжера, не відповідає стандартній величині: так розмір $102_{-0,50}$ містить нестандартний допуск 500 мкм, тому що згідно з ГОСТом 25345-89 допуск є 350 мкм. Також для розміра $\varnothing 185^{+0,090}$ замість допуску зі значенням 90 мкм потрібен бути допуск 72 мкм, бо наступне значення є 115 мкм. Теж маємо допуск для розміра $\varnothing 210_{-0,25}^{-0,05}$: допуск 200 мкм, а стандартні величини будуть 185 мкм чи 290 мкм.

На кресленні плунжера декілька розмірів задають з надвисокою точністю, що обумовлюють функціональним призначенням цих поверхонь: наприклад, $180f7_{-0,083}^{-0,043}$ й $60f9$ є розмірами прямокутних частин хвостовика, що встановлюють в напрямні насоса, бо необхідним є гарантований мінімальний зазор; також діаметр 185 - по поверхні деталь встановлюють на ексцентрик. Оскільки деталь не призначена працювати з агресивними хімічними середовищами або з речовиною, що роз'їдає чорний метал, то цілком виправданим є застосування матеріалом деталі чавуна СЧ20 ГОСТ1412-89.

1.3 Заданий тип виробництва та форма його організації

Побудову технологічного процесу виготовлення плунжера з відповідною формою організації роботи, визначає тип виробництва.

На ранніх етапах проектування техпроцесу тип виробництва визначають як правило за табличними методами. Згідно із [4, таб. 2.1, с.27], з максимальними масами оброблюваної заготовки меншими 200 кг (маємо $m=15,6$ кг) з річною програмою до 5000 штук (маємо річну програму 1200 штук) отримуємо тип виробництва – дрібносерійний.

Форма організації виробництва визначатиметься так.

Добову кількість випуска плунжерів знаходимо із залежності

$$N_{\text{сут.2}} = \frac{N_2}{254} = \frac{1200}{254} \approx 5 \text{ штук}, \quad (1.1)$$

де 254 – значення кількості робочих днів у році.

Тоді добова продуктивність поточної лінії з її завантаженням до 60 відсотків наступна:

$$Q = \frac{F_{\text{сут.2}}}{T_{\text{сп.2}}} \cdot 0,6, \quad (1.2)$$

де $F_{\text{сут.2}}$ – значення добового фонду часу обладнання;

$$F_{\text{доб.2}} = \frac{F_{\text{д.2}}^o \cdot 60}{254} \quad (1.3)$$

$$F_{\text{доб.2}} = \frac{4015 \cdot 60}{254} = 948 \text{ (хвилин)}.$$

Маємо значення такта випуска деталей при потоковій лінії:

$$\tau_{\text{в.2}} = \frac{F_{\text{д.2}}^o \cdot 60}{N_{\text{с.2}}}, \text{ хвилин} \quad (1.4)$$

$$\tau_{\text{в.2}} = \frac{4015 \cdot 60}{1200} = 200,5 \text{ хвилин}$$

Знаходимо кількість плунжерів в партії деталей:

$$N_{\text{парт.2}} = N_{\text{сут.2}} \cdot a, \quad (1.5)$$

При цьому $a = 21$ день – періодичність запуску виробів у виробництво.

$$N_{\text{партия}2} = 2 \cdot 24 = 48,0 \text{ (штук)}$$

Зробимо корегування значення партії деталей шляхом розрахунку кількості змін, що є потрібними на оброблення партії всіх деталей:

$$Z = \frac{N_{\text{партия}2} \cdot T_{\text{сп}2}}{F_{3,2} \cdot \eta_{3,н}}, \quad (1.6)$$

де $F_{3,2} = \frac{F_{\text{дод}2}}{6}$ є фондом змінним часу на роботу верстатів, хвилин;

v – є числом змін за добу, маємо $v = 2$;

$\eta_{3,н} = 0,750$ є коефіцієнтом завантаження устаткування (нормативним).

$$F_{3,2} = \frac{948}{2} = 475 \text{ (хв.)}$$

$$Z = \frac{24 \cdot 48}{475 \cdot 0,75} = 5,30.$$

Згідно з рекомендаціями кількість змін $Z_{\text{пр}2}$ округлимо до значення 5. Тоді маємо в одній партії деталей:

$$N_{\text{партії}} = \frac{Z_{\text{пр}} \cdot F_{3,2} \cdot \eta_{3,н,2}}{T_{\text{сп}2}} \quad (1.7)$$

$$N_{\text{партії}} = \frac{5 \cdot 475 \cdot 0,75}{24} = 84 \text{ штук}$$

Характерною рисою дрібнонесійрийного типа виробництва є:

- технологічні процеси розроблено у вигляді маршрутно-операційних технологічних карт;
- робочі місця спеціалізуються на виконанні постійно закріплених за ними операціях, що є близькими з технологічного характера;
- устаткування використовується і універсальне, і спеціальне;
- робоча кваліфікація робітників не висока – є середньою.

Для зменшення трудомісткості та здешевлення виробництва більшу частину верстатів беруть універсальним, оснащеним спеціальними або універсально-складальними пристроями.

Для декількох або для однієї деталі розташовують устаткування по ходу технологічного процесу виготовлення плунжера, тому це вимагатиме однакового порядку оброблення із дотриманням принципу взаємозамінності при обробленні заготовок.

В якості вимірювального інструменту беруть спеціальний інструмент або предельні калібри. Використовувані верстати настроюють на автоматичне одержання розмірів обробки. Собівартість продукції, що випускається є середньою. Така операція, як розмітка застосовується як правило тільки для великих і складних деталей, що обробляються.



1.4 Аналіз технологічності деталі

1.4.1 Технологічність за якісними показниками

Задана деталь «Плунжер 352.15.02.03» по конфігурації є тілом складної форми, що наближається до коробчастої та що містить переходну ділянку з циліндричної в прямокутну - подовжений хвостовик. Згадана циліндрична ділянка завдовжки 90,0мм та при товщині стінки 12,5мм (вона утворена концентричними поверхнями діаметрів $\varnothing 185$ й $\varnothing 210$ мм. Хвостовик плунжера виконують як взаємно перпендикулярні сусідні пари поверхонь, утворюючі в поперечному перетині прямокутник із боками 60,0x180,0 мм з більше ніж 200 мм довжиною.

В процесі роботи плунжера є наявними динамічні навантаження на поверхнях деталі. Зважаючи на це, виготовлена з чавуну деталь з метою збереження її жорсткості не має можливості заміни конструкції на армовану, збірну або зварену. Більш частина поверхонь плунжера є відкритою та доступною для механічного оброблення.

Матеріалом виготовлення плунжера є чавун СЧ20 ГОСТ 1412-89, його механічні властивості наведено у таблиці 1.4.

Заготованку плунжера отримують литвом, і конфігурація зовнішніх і внутрішніх контурів не викликає значних конструкційних труднощів.

У деталі є присутніми деякі нетехнологічні елементи, які можуть ускладнювати її виготовлення. Зокрема цими елементами є такі:

- $\varnothing 5$ - два отвори малого діаметру, що розташовані до осі хвостовика під кутом 40° та які розташовані в безпосередній близькості від нього; це дещо ускладнює доступ різального інструмента до оброблюваних поверхонь.

- $\varnothing 210$ - зовнішня циліндрична поверхня, що не є суцільною, а з перериванням на ділянці переходу у хвостовик; це не дає можливість

високопродуктивно точити дану поверхню, і вимагатиме оброблення на стругальних верстатах, а це знижує продуктивність оброблення;

- Ø186 - глуха проточка у середині циліндричного отвора, яка не дозволить різальним інструментам працювати напроход.

Таблиця 1.4 – Чавун СЧ 20 ГОСТ 1412-89 та його механічні властивості

Найменування властивості з одиницям вимірювання		Величина
Межі міцності, МПа	σ_B	201
	σ_{II}	402
	τ_B	285
Коефіцієнта лінійного розширення, $\times 10^7$, градус $^{-1}$		12-14
Ударна в'язкість, $\times 10$, Дж / мм 2		0,80
Твердість по Бринелю, МПа		1915-2064
Коефіцієнт Пуасона		0,220-0,260
Питома вага, $\times 10^{-4}$, Н/м 3		7,2-7,3
Модуль пружності E, $\times 10^5$, МПа		0,83

Матеріал плунжера, що використаний для виготовлення, добре обробляється, і це дозволяє використати високоефективні методи оброблення, а саме торцеве фрезерування інструментами з надтвердими матеріалами при обробленні площин плунжерів. А в цілому деталь є достатньо технологічною.

1.3.2 Технологічність за кількісними показниками

Знайдемо коефіцієнт точності оброблення:

$$K_{TЧ2} = 1 - 1/T_{cp.2} \quad (1.8)$$

де $T_{cp.2}$ є середнім квалітетом точності оброблення,

$$T_{cp.2} = \frac{\sum T_i n_{i2}}{\sum n_{i2}}, \quad (1.9)$$

T_i = це квалітет точності,

n_{i2} - наявна кількість розмірів поверхонь.

$$T_{cp,2} = \frac{7 \cdot 1 + 8 \cdot 2 + 9 \cdot 2 + 13 \cdot 1 + 14 \cdot 10}{1 + 2 + 2 + 1 + 10} = 12,14$$

$$\text{Тоді } K_{Tч} = 1 - 1/12,14 = 0,92 > 0,8 = [K_{Tч2}]_н.$$

Розрахований коефіцієнт точності є більшим за нормативний, тому за точністю оброблення деталей є технологічною.

Розрахуємо коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш} = 1/Ш_{cp,2}. \quad (1.10)$$

де $Ш_{cp,2}$ – це значення середньої шорсткості,

$$Ш_{cp,2} = \frac{\sum Ш_{i2} \cdot n_i}{\sum n_i} \quad (1.11),$$

$$Ш_{cp,2} = \frac{0,8 \cdot 6 + 1,6 \cdot 1 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 11}{6 + 1 + 4 + 11} = 4,5 > 0,32 = [K_{ш2}]_н$$

Маємо коефіцієнт шорсткості меншим ніж припустимий, тому деталь що розглядається є технологічною за шорсткістю обробки.

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріала:

$$K_{BM} = m_d/m_{з2}, \quad (1.12)$$

де m_d – це маса деталі, кг,

$m_{з2}$ – це маса заготованки, кг. Тоді маємо:

$$K_{BM} = 15,6/22,14 = 0,61 < 0,64 = [K_{BM}]_н.$$

Знайдений коефіцієнт використання матеріала є меншим за нормативний, тому наша деталь за даним параметром не є технологічною.

Враховуючи службове призначення і умови роботи нашої деталі, можна зробити висновок, що для спрощення конструкції деталі немає можливостей. Також для збереження жорсткості деталі недоцільною є заміна її конструкції на зварену, збірну або армовану. При цьому переважна більшість поверхонь плунжера є відкритою та доступною для оброблення.

З наведеного аналізу технологічності також можна зробити висновки, що в цілому наша деталь є технологічною.

1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення плунжера

Базовий технологічний процес оброблення деталі «Плунжер 352.15.02.03» найбільш відповідає типовим технологічним процесам оброблення деталей подібного профілю та складності.

Послідовність виконання операцій обробки відповідає етапам оброблення:

- на чорновому етапі: операції 015 дрібоструйна, 020 слюсарна, 025 токарно-гвинторізна, 030 стругальна, 035 поздовжньо-фрезерна, 040 вертикально-фрезерна, 045 горизонтально-фрезерна та 045 слюсарна операції;

- на напівчистовому етапі: операції 055 токарна з ЧПК, 060 фрезерна, 065 стругальна напівчистова, 070 розточувальна, 075 стругальна, 080 стругальна, 085 радіально-свердлильна операції;

- на чистовому етапі: операції 090 шліфувальна, 095 фрезерна, 100 горизонтально-фрезерна операції.

Може викликати певні заперечення лише послідовність виконання операції 100 (горизонтально-фрезерної): ця операція йде після чистових операцій оброблення поверхонь, тому доцільним було б виконання її на більш ранніх етапах оброблення.

Перша операція токарно-гвинторізна 020: оброблення поверхонь, що є базовими для наступних операцій обробки: $\varnothing 180H11(+0,250)$:

- торцевання циліндричної частини плунжера.

Друга операція 025 стругальна чорнова: оброблення циліндричної частини плунжера напрохід. Використані бази, що підготовлені на попередній операції. Метод оброблення – стругання - відповідає тим, що прийняті для заготованок подібної конфігурації, тому не може бути змінений на інший.

Третя операція 030 поздовжньо-фрезерна виконується у два установи:

- установ А: торцеве фрезерування одного з торців деталі;
- установ Б: торцеве фрезерування іншого з торців деталі.

Наступна операція 035 вертикально-фрезерна має два установи:

- установ А: торцеве фрезерування однієї з площин направляючої частини деталі;
- установ Б: торцеве фрезерування іншої з площин направляючої частини деталі.

Наступна операція 040 горизонтально-фрезерна має один установ. Торцеве фрезерування площин зріза хвостовика.

Наступна операція 050 токарна з ЧПК має один установ. Підрізання торця плунжера і розточування отвору.

Наступна операція 055 фрезерна має один установ. Торцеве фрезерування фрезою з ельбору-Р одного з торців деталі.

Наступна операція 060 стругальна напівчистова має один установ. Установлення одночасне чотирьох деталей на оправці-барабані; стругання напрохід циліндричної частини плунжера.

Наступна операція 065 розточна має один установ. Остаточне розточування отвора плунжера в розмір $\varnothing 185H8$.

Наступна операція 070 стругальна чистова має один установ. Стругання напрохід циліндричної частини плунжеру.

Наступна операція 075 стругальна має один установ. Стругання напрохід канавок плунжеру R2 на глибину 1,50 мм та R3.

Наступна операція 085 радіально-свердлильна має один установ: свердління напрохід двох отворів $\varnothing 5^{+0,30}$ мм під кутом $40^\circ \pm 2,0^\circ$ до осі хвостовика, витримуючи розміри $120,0 \pm 0,435$ та $30,0 \pm 0,26$.

Наступна операція 090 шліфувальна має два установи:

- установ А: плоске шліфування однієї з площин напрямної частини плунжеру;
- установ Б: плоске шліфування іншої з площин напрямної частини плунжеру.

Наступна операція 090 фрезерна має два установи:

- установ А: торцеве фрезерування одного з торців плунжеру, витримуючи розміри з висоти $180,4_{-0,185}$;
- установ Б: остаточне фрезерування іншого з торців плунжеру, витримуючи розміри $180f7\left(\begin{smallmatrix} -0,043 \\ -0,083 \end{smallmatrix}\right)$ за сьомим квалітетом.

Наступна операція 100 горизонтально-фрезерна має два установи: фрезерування по черзі мастильної канави плунжеру з обох торців, витримуючи розміри ширини пазу $3^{+0,250}$ та глибини канавки $1,5^{+0,250}$.

Металорізальне обладнання, що застосовують на операціях, є здебільшого універсальним, і це більше підходить до типу виробництва одиничного, ніж до дрібносерійного типу.

Використаний матеріал ріжучих частин інструментів здебільшого відповідає рекомендованому, а саме: для фрезерування, точіння й стругання використовують твердий сплав типу ВК8, а для свердління використовується швидкоріжуча сталь Р6М5 або близька за хімічним складом.

1.6 Висновки с завданнями для удосконалення розроблення технологічного процесу виготовлення плунжера

Таким чином, маємо, що для проектного технологічного процесу виготовлення плунжера можна поставити наступні завдання:

- для обладнання рекомендовано використати верстати універсальні та верстати з ЧПУ, тому що це відповідає дрібносерійному типу виробництва;
- більш ширше використати різальний інструмент, що оснащений твердим сплавом або композитом, бо це дозволить здійснювати найбільш високі режими оброблення;
- на операціях чистового оброблення площин рекомендовано застосувати торцеве фрезерування зі вставками з надтвердими матеріалами, тому що це забезпечить поряд із високою якістю оброблення поверхні ще й високу продуктивність обробки.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛУНЖЕРА

2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення плунжера

Можливі варіанти обробки поверхонь деталі є вихідними даними для виконання даного розділу складання раціонального технологічного маршруту виготовлення плунжера.

Принцип поетапності повинен бути витриманий, і це означає, що спочатку необхідно проводити усі «чорнові» технологічні операції, після цього – «напівчистові» та «чистові». При цьому повинні бути враховані такі вимоги:

- в саму першу чергу оброблюються базові поверхні, що потрібні для другої операції обробки;
- оброблюються поверхні плунжера із найбільшими припусками;
- далі оброблюються поверхні на тих операціях, де поява браку має найбільшу ймовірність.

Після цього оформляємо результати у виді таблиці-матриці технологічного процесу (див. таб. 2.1).

Маємо, що чорновий етап (E1) містить в собі токарно-гвинторізну операцію (020), стругальну операцію (025), поздовжньо-фрезерну операцію (030), вертикально-фрезерну операцію (035) та горизонтально-фрезерну (040).

Маємо, що напівчистої етап (E2) містить в собі токарну операцію з ЧПК (050), фрезерну операцію (055), стругальну напівчистову операцію (060), розточувальну операцію (065), стругальну операцію (070), стругальну операцію (075), радіально-свердлильну операцію (085).

Також маємо, що чистовий етап містить в собі шліфувальну операцію (090), фрезерну операцію (090) та горизонтально-фрезерну операцію (100).

2.2 Вибір з обґрунтуванням методу виготовлення заготовки

Раціональна технологія потребує максимального наближення форми і точності заготовки до точності та форми готової деталі. Спосіб отримання заготовки встановлюють в результаті аналізу креслення деталі, матеріалу плунжера, його програми випуску та габаритів і маси деталі.

Ми обираємо спосіб одержання заготовки розрахунковим методом при порівнянні вартостей двох різних варіантів. Тому вихідними даними розрахунків будуть:

- найбільший розмір плунжера – 412 мм;
- маса плунжера (15,6 кг);
- величина річної програми випуску плунжера – 1200 шт.;
- група складності плунжера – 3 група;
- матеріал плунжера – сірий чавун СЧ 20 ГОСТ 1412-89;
- мінімальна товщина плунжера (8,0 мм).

Литво в піщані форми є найпоширенішим способом литва, бо воно має найменшу собівартість. Названий спосіб є найбільш застосовуваним в одиничному і серійному виробництвах, в дрібносерійному виробництві включно. Ці заготовки характеризуються не дуже високою точністю, досить грубою шорсткістю та значними припусками на оброблення. Литво в піщані форми також вимагає найбільших витрат металів.

Литво кокільне на відміну від литва у піщані форми більш дороге, оскільки використовують багаторазову спеціальну металеву форму - кокіль. Ці кокілі дозволяють одержавати литво із стабільними і точними розмірами, до 12 квалітету включно і з шорсткостями до Rz20мкм. Велика теплопровідність матеріала форми призводить до швидкої кристалізації. Таке литво доцільно застосовувати при серійному типі виробництва та при одержанні з кожної із форм не менше ніж 350...450 дрібних виливків за один рік.

Вартість отримання заготовок знайдемо розрахунковим методом.

Наш «Плунжер 352.15.02.03» - з досить складною геометричною формою, тонкими стінками, тому таку заготованку при дрібносерійному типі виробництва отримують литвом. Зрівняємо способи отримання заготованки литвом в піщані форми з машинним формуванням та з литвом у кокілі.

Маємо вартість заготовки по двом варіантами по формулі (2.2):

$$S_{заг.} = \left(\frac{C_{i2}}{1000} \cdot Q \cdot K_6 \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_M \cdot K_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх.2}}{1000} , \quad (2.2)$$

де C_{i2} - базова собівартість 1 тони заготованок деталей, у гривнях;

K_6 , K_c , K_m , K_M , K_n – значення коефіцієнтів, залежних від класу точності, групи складності, марки матеріалів, їх маси, обсягу виробництв заготованок.

Вихідні дані з розрахунків зведемо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунків вартості заготовки

Найменування показника	Литво, піщані форми	Литво, кокіль
Вид заготованки	Виливки	Виливки
Клас точності [9, с.117]	3	2
Група складності [9, с.34]	2	2
Вартість 1тони заготовок прийнятих за базу C_{i2} , грн. [9,с.34]	7900	7900
Вартість 1тони стружки заготовки $S_{відх.2}$, грн.[9, с. 33]	1450	1450
Маса заготовки Q , кг	22,15	22,07
Група серійності [9, с.35]	2	2
Значення коефіцієнтів:		
K_c [9, с.34]	1	1,05
K_M [9, с.34]	1,02	1,02
K_m [9, с.34]	1	1
K_n [9, с.33]	0,90	0,80
K_6 [9, с.34]	0,51	0,50

Знайдемо вартості заготовок:

$$S_{\text{сд}\bar{a}.1} = \left(\frac{7800}{1000} \cdot 22,14 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 0,52 \right) - (22,14 - 15,5) \frac{1300}{1000} = 75,51 \text{ (грн.)}$$

$$S_{\text{сд}\bar{a}.2} = \left(\frac{7800}{1000} \cdot 22,14 \cdot 1,04 \cdot 1,05 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 0,52 \right) - (22,14 - 15,5) \frac{1300}{1000} = 80,72$$

(грн.)

Оскільки 75,51 грн. менш від 80,72 грн., то перший варіант буде більш дешевшим. Маємо підтвердження за даними [9], де йдеться про те, що литво 3 класу точності, яке забезпечується або машинним, або ручним формуванням за координатними плитами. Саме цей спосіб є найоптимальнішим для вилівка будь-якої складності як в дрібносерійному, так і в одиничному типі виробництва.

Знайдемо економічний ефект, зіставляючи способи отримання заготованок, згідно з [9]:

$$E_z = (S_{\text{заг.01}} - S_{\text{заг.02}}) \cdot N; \quad (2.3)$$

$$E_z = (80,72 - 75,51) \cdot 1200 = 6252 \text{ (грн.)}$$

Литво повинно відповідати ГОСТу 26645-89, згідно з яким визначаються величини допусків розмірів заготовки, маси й припуски на механічну обробку.

Тоді для литва у піщані форми й у кокілі з найбільшими габаритними розмірами до 630 мм (ми маємо 410,0 мм), при матеріалі сірий чавун, при типі виробництва дрібносерійному, будемо мати рекомендований клас точності розмірів (також і мас) – 11 Т. Ряд припусків – третій ряд.

Запишемо у таблицю 2.2 допуски розмірів литва.

Таблиця 2.2 – Розміри литва плунжера

Розміри деталі у (мм)	Розміри литва у (мм)	Допуски у (мм)	Припуски (мм)
77	77	±1,60	-
61	67	±1,70	3,60
410	423	±2,90	5,0
182	192	±2,10	5,0; 7,0
44	44	±1,20	-
107	107	±2,20	-
Ø185	Ø176	±2,30	6,0
Ø211	Ø225	±2,30	5,0

2.3 Розрахунок припусків на оброблення $\varnothing 185$

Зробимо для одного з точних діаметральних розмірів плунжеру $\varnothing 185^{+0.072}$ розрахунки величин припусків. Використовуємо розрахунково-аналітичний метод професора В.М.Кована, при цьому розрахунки будемо робити за допомогою спеціальної програми «Prirusk».

Для здійснення розрахунку використаємо наступні вихідні дані:

– маршрут оброблення заданої поверхні $\varnothing 185$:

чорнове розточення - IT11 з Ra 6,3;

напівчистове розточення - IT9, Ra3,2;

чистове розточення - IT8, Ra1,6.

– необхідні параметри заданої поверхні $\varnothing 185$:

для литва класа точності 11Т з використанням таблиць-підказок програми для ЕОМ «Prirusk»: Rz=320мкм, T=590мкм; тоді після першого розточення буде шорсткість Rz=60мкм, значення дефектного шару буде T=40мкм; після другого розточення буде Rz=25мкм, значення дефектного шару буде 25 мкм; після чистового розточення буде шорсткість 10 мкм, дефектний шар буде 15 мкм;

величина відхилення просторового для литва буде:

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{зміщ}}^2 + \rho_{\text{коробл}}^2} \quad (2.4)$$

Знаходимо похибку зміщення $\rho_{\text{зміщ}}=1,90\text{мм}$, $\rho_{\text{коробл}}=1,0$
(мкм/мм)·423(мм) = 423мкм=0,423мм.

$$\rho_{\text{загот}} = \sqrt{1,90^2 + 0,423^2} = 1,795(\text{мм}) = 1795(\text{мкм})$$

Залишкові значення відхилень просторових по виконаним переходам знаходимо згідно з [9, с.74]:

$$\rho_{\text{залиш}} = K_{\text{уто}} \cdot \rho_{\text{загот}} \quad (2.5)$$

Маємо $K_{\text{уто}}$ – коефіцієнт уточнень,

$\rho_{\text{загот}}$ – величина кривизни заготовки.

Маємо з чорновим розточенням:

$$\rho_1 = 0,06 \cdot \rho_{\text{загот}} = 0,06 \cdot 1,795 = 0,111 \text{ (мм)} = 113 \text{ (мкм)};$$

після напівчистового розточення:

$$\rho_2 = 0,02 \cdot \rho_{\text{загот}} = 0,02 \cdot 1,795 = 0,0041 \text{ (мм)} = 5 \text{ (мкм)}.$$

Оскільки похибки базування й закріплення входять до складу похибки встановлення, то для литва за таблицею програми для розміру 410 мм похибки базування $\varepsilon_{62} = 210,0$ мкм, похибки закріплення $\varepsilon_{32} = 210,0$ мкм. Після напівчистового розточення при установленні в пристрої маємо: $\varepsilon_{63} = 132$ мкм й $\varepsilon_{33} = 122$ мкм. Після розточення чистового при установленні в пристрої з начисто обробленою поверхнею будемо мати $\varepsilon_{64} = 132$ мкм, і також згідно з [9, с.73] будемо мати похибки закріплення $\varepsilon_{34} =$.

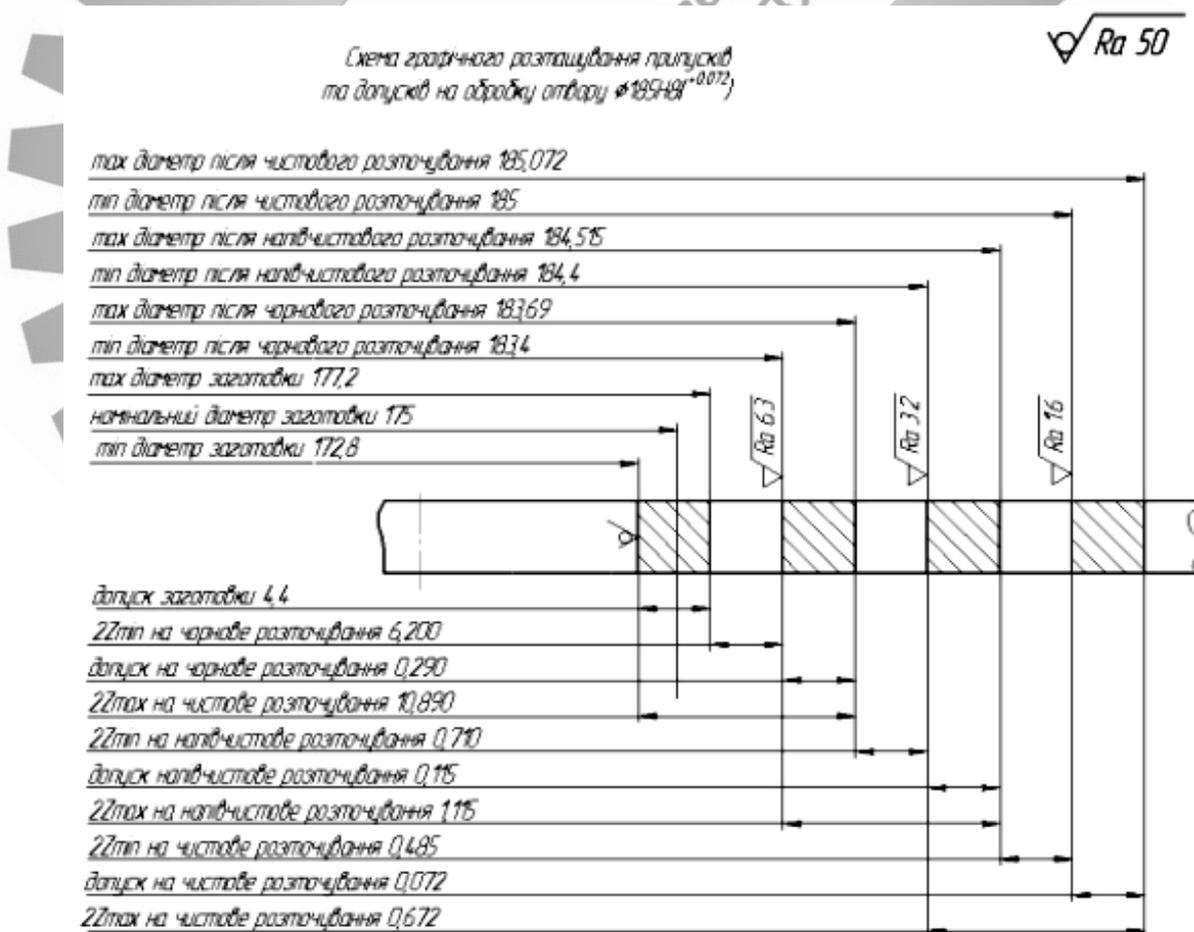


Рисунок 2.2 – Схема розміщення допусків й припусків на отвір

$$\varnothing 185^{+0,072}$$

2.4 Призначення і обґрунтування схем базування та закріплення плунжера

Необхідно при виборі схеми закріплення й базування брати до уваги, що базовими слід обирати такі поверхні, що досить значні за площею («розвинені»), або мають достатню точність, або якщо дозволять поєднати технологічну і вимірювальну бази (за принципом суміщення баз), або якщо дозволять використати принцип сталості баз, або якщо дозволять здійснити просте й надійне закріплення заготовки, або якщо буде можливість оброблення максимальної кількості поверхонь заготовки з одного установа.

Ми вибір й обґрунтування схеми базування та закріплення плунжеру здійснюємо для двох технологічних операцій, а саме: 020 токарно-гвинторізної та 095 фрезерної операцій.

Операція 020:

головною базовою поверхнею є торець $\varnothing 223$. Поверхня є установлюваною базовою поверхнею, лишає заготовку 3 степенів свободи – 1 переміщення уздовж осі отвору та 2 обертань (рис. 2.3). Ця поверхня добре розвинена, не має літників й дефектів. Витримується вимога про те, що першу чорнову базу використовують тільки один раз, а на інших операціях використовують інший торець, який на цій операції оброблюється.

Як допоміжні бази 4, 5 (рисунок 2.3) є зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 223$, встановлювана за двома короткими призмами. Заготовку позбавлено двох степенів свободи - двох переміщень.

У таблицях 2.3, 2.4 представлено степені відповідності й матриця зв'язків для принципу базування по рис. 2.3.

Таблиця 2.3 - Степені відповідності при базуванні

Зв'язок	Степінь свободи	
3, 1, 2	V, I, VI	УБаз
5, 4	II, III	ПОБаз

6	IV	ОБаз
---	----	------

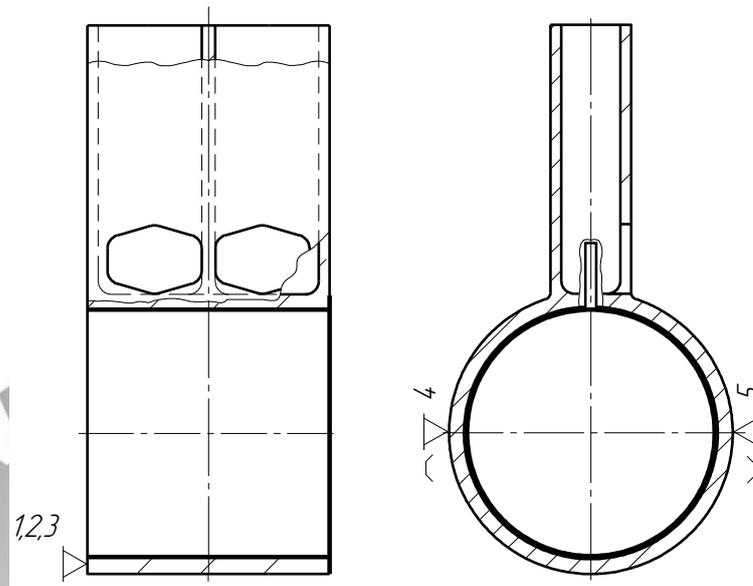


Рисунок 2.3 – Принцип базування на операції 020

Таблиця 2.4 - Матриця зв'язків при базуванні

	X	Y	Z	
1	1	0	0	Установча
α	0	1	1	Баз.
1	0	1	1	Подвійна опорна
α	0	0	0	Баз.
1	0	0	0	Опорна
α	1	0	0	Баз.

Визначаємо похибки базування для осі обертань циліндричної поверхні плунжеру. Базування проводимо за зовнішньою поверхнею заготовки $\varnothing 223$, при цьому вимірюваною (обробляємою) поверхнею є $\varnothing 176$ заготовки. Тому зміщення заготовки залежить від допусків на зовнішні поверхні $\varnothing 223$, тобто від допуску $T = 4,40$ мм.

Маємо кут призми $\alpha=90^0$ з коливанням значення діаметра від $\varnothing 219,7$ до $\varnothing 225,2$, тоді похибка базування буде дорівнювати величині різниць висот h двох заданих діаметрів по рисунку 2.4.

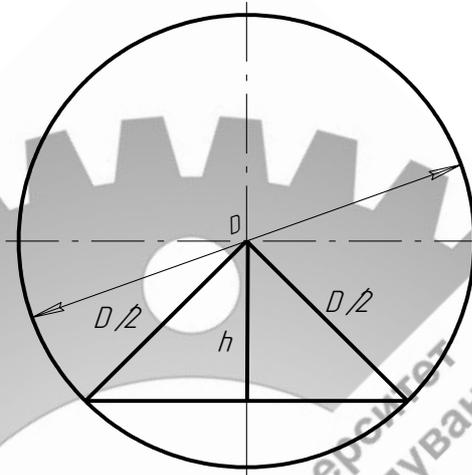


Рисунок 2.4 - Схема до розрахунків похибок базування на операції 020

Згідно зі схемою, $h_1=(D/2) \cdot \cos 45$.

Тоді $h_1=(225,2/2)\cos 45 = 78,27$ (мм);

$h_2=(219,7/2)\cos 45 = 76,71$ (мм).

Маємо: $\varepsilon_6 = h_1 - h_2 = 78,27 - 76,71 = 1,560$ (мм).

На цій операції альтернативних варіантів базування майже немає, тільки варіант, що розглянуто на рис. 2.5.

Похибка базування розположення осі $\varnothing 223$ буде дорівнювати допуску розміру 67 заготовки, а саме 3,60 мм, а це значно більше отриманого раніш значення ε_{63} . Цей варіант базування є малопридатним для використання, оскільки він не дозволить здійснити центрування циліндричної частини плунжера. Також ускладнюється процес закріплення заготовки, збільшується ймовірність появи вібрацій при обробленні при зниженні жорсткості вузла кріплення заготовки, оскільки місце оброблення заготовки є віддаленим від місця базування й закріплення.

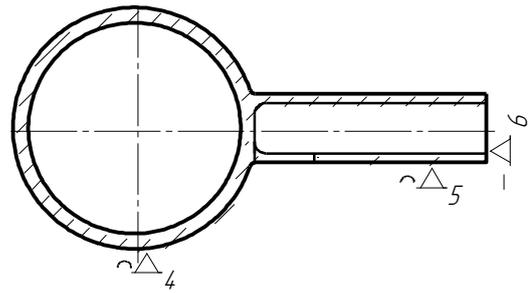
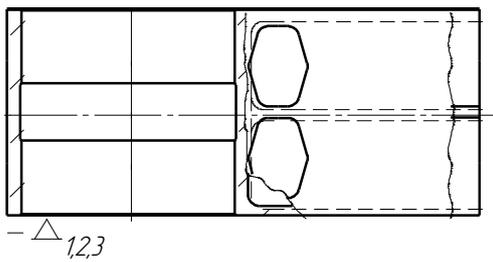
Операція 095 фрезерна:

при торцевому фрезеруванні торців одночасно 6 плунжерів. Плунжери встановлюються попередньо обробленими площинами торця на установі А, яка є встановчою базою, полишає заготованку 3 ступенів волі. Завдяки тому, що цей торець на попередній токарній операції оброблювався з одного установка з розточувальним отвором $\varnothing 185$, тоді на операції 095 забезпечуємо перпендикулярність площини торця що оброблюється та осі отвору $\varnothing 185$, і це задано технічною вимогою на кресленні $T_{\perp}=0,05$. На другому установі Б плунжери перевстановлюють на оброблену на попередньому установі А площину торця, що також є встановчою базою, позбавляє плунжер 3 ступенів свободи (1, 2 та 3).

Зовнішній ряд плунжерів, що встановлені на магнітному столі верстата, базується в радіальному напрямку по зовнішньому обмежувальному кільцю, а внутрішні ряди плунжерів – базуються по бокових поверхнях встановлених сусідніх заготовок-плунжерів. Ці поверхні плунжерів є направляючою базою, що позбавлятиме заготованку 2 ступенів свободи (4 та 5).

З метою запобігання осьових переміщень плунжерів на магнітному столі використовують спецопори, що позбавляють заготованку останньої 6 ступені волі. В таблицях 2.5 й 2.6 наведено дані по позбавленим ступенями волі та зв'язкам при даному варіанті базування на операції.

Установ А



Установ Б

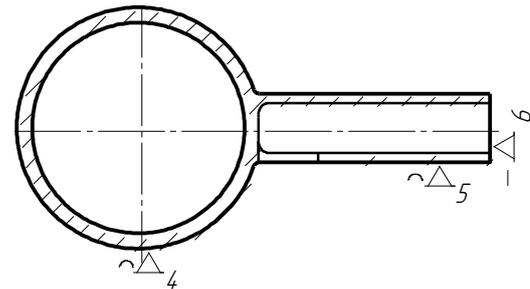
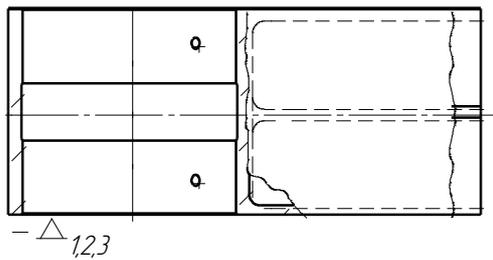


Рисунок 2.5 – Принцип базування на операції 095

Таблиця 2.5 - Степені відповідності при базуванні

Зв'язок	Степінь свободи	
3, 1, 2	V, I, VI	Установч. Баз.
5, 4	II, III	Напрямна Баз.
6	IV	Опорна Баз.

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків при базуванні

	X	Y	Z	
1	0	0	1	Установч. Баз.
α	1	1	0	
1	0	1	0	Напрямна Баз.
α	0	0	1	
1	1	0	0	Опорна Баз.
α	0	0	0	

Оскільки за цим варіантом базування збігаються вимірвальна та технологічна бази, тобто дотримується принцип суміщення баз, то похибки базування будуть дорівнювати нулю: $\varepsilon_6 = 0$.

2.5 Обґрунтування й вибір металорізальних верстатів

Розглядаємо операцію 020. Тут застосовують токарно-гвинторізний верстат моделі 1М63Б. На цій операції здійснюють розточення отвору $\varnothing 180$ й підрізання торцю $\varnothing 180$, тому цей верстат задовольнятиме вимогам: найбільший діаметр оброблюваної деталі на цій моделі – 465 мм. У нас довжина оброблюваного отвору буде 191 мм, і верстат зможе забезпечити найбільшу довжину оброблення 1400 мм, тобто ця умова також буде виконуватися.

Цей верстат має параметри: 75 мм – це діаметр отвору у шпинделі; з внутрішнім конусом – 8М по ГОСТ 12593-89.

Маємо частоти обертання шпинделю 12,5 - 1800 об/хв.

Поздовжня подача: 1 – ряд – 0,08 ... 1,00 мм/об., 2 – ряд – 0,083...1,50 мм/об; поперечна подача: 1 – ряд – 0,025...0,360 мм/об., 2 – ряд – 0,0330... 0,516 мм / об; для салазок: 1 – ряд – 0,018...0,360 мм/об., 2 – ряд – 0,026...0,433 мм/об. Конус Морзе 5. Державка різця має перетин 32x25 мм. Потужність електродвигуна головного руху – 18,0 кВт. Габаритні розміри верстата, у мм: довжина – 3565 мм, ширина – 1795 мм, висота – 1480 мм. Маса – 3825 кг.

Точнісні вимоги, що забезпечуються верстатом: сталість діаметра зразків у поперечному перетині – 10 мкм, а у будь-якому перетині – 30 мкм; відхилення від площинності торцевої поверхні зразків – 20 мкм.

Розглядаємо операцію 095. Тут застосовують модернізований плоскошліфувальний верстат з круглим столом моделі 3Е756. Застосування

цього верстата на операції торцевого фрезерування обґрунтовується таким чином. На цій операції використовують різальний інструмент, оснащений надтвердими матеріалами (торцева фреза), то й обладнання для такого інструмента має відповідати певним вимогам: це швидкохідність шпинделя, висока жорсткість й вібростійкість, хвилинні подачі в межах 2 м/хв. Саме цим вимогам і відповідають плоскошліфувальні верстати, які працюють торцем шліфкола, а найбільшою мірою – це плоскошліфувальні верстати з круглим столом з вертикальним шпинделем. Такий верстат вимагатиме модернізацію механізмів подач, після цього модернізований привод механізма подач забезпечуватиме величину кругової подачі в діапазоні 0,50-4,0 м/хв. Повний цикл оброблення деталей, що встановлюють на столі верстата, складається з таких рухів:

- підведення стола швидко поздовжньою подачею до налаштованої на розмір фрези;
- кругова подача стола верстата;
- швидко відведення стола верстата на вихідну позицію.

Маємо, що за один оберт стола здійснюється цикл оброблення деталей. Секторна частина площі стола не заповнюється деталями для можливості розміщення фрези над столом для швидкого підведення. Цикл роботи верстата – напівавтоматичний, він передбачає ручне завантаження та вивантаження плунжерів. Переоснащення верстата мод. 3E756 також містить підготовку спеціальних оправок для встановлення торцевих фрез, приєднувальні розміри котрих виконано за ГОСТом 13041-85, та встановлення спеціальних захисних пристроїв.

Верстат цієї моделі дозволяє оброблювати заготовки з найбільшою висотою 350мм: наш плунжер має висоту лише 180 мм, що є меншим припустимої величини. Найбільша величина поздовжнього переміщення стола – 556 мм. Маса заготовок не повинна перевищувати 200 кг: у нас маса оброблюваних заготовок: $15,50 \text{ кг} \times 7 \text{ шт.} = 108,50 \text{ кг}$, що є значно меншим припустимих значень. Частота обертання торцевої фрези – 1500 об/хв.

Потужність електродвигуна привода головного руху – 30,5 кВт. Габаритні розміри разом із приставним обладнанням: довжина – 2845 мм, ширина – 2536 мм, висота – 2567 мм. Маса разом із приставним обладнанням – 10350 кг.

2.6 Обґрунтування й вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Розглядаємо операцію 020 токарно-гвинторізу.

Верстатний пристрій - пристрій спеціальний П2-1252, що був розроблений та виготовлений на базовому підприємстві. Цей пристрій встановлюють на верстаті мод. 1М63Д: корпус з плоскою встановлювальною поверхнею, по ній заготованку встановлюють торцем, й дві симетричні короткі призми з кутом 90° - по ним заготованка встановлюється зовнішньою циліндричною поверхнею $\varnothing 223$. Закріплення заготовки через призми є гвинтовим, це відповідає дрібносерійному виробництву. Незалежний рух призм дозволяє здійснювати регулювання у радіальному положенні циліндричної частини плунжеру, при цьому забезпечують рівностінність стінок кільцевої поверхні $\varnothing 223$ ($\varnothing 180$) заготовки.

Оправку П2-283 використовують для встановлення розточувального інструмента.

Різець 2141-0018 ГОСТ18883-79 використовують на операції розточення. Це токарний різець для оброблення наскрізних отворів з матеріалом різальної частини з твердим сплавом ВК8. Марка твердого сплаву відповідає матеріалу оброблення заготовки – сірому чавуну. Різець має перетин $h \times b = 20 \times 20$ мм, виконання 1, загальна довжина $L = 252$ мм, довжина головної частини $l = 192$ мм, $d = 14$ мм із пластиною з твердого сплаву типу 02 по ГОСТ 2208-89 [9, с. 250]. Довжина різця 255мм забезпечує розточення заданого отвору 192 мм.

Вимірвальним інструментом на цій операції є пробка «ПР-НЕ» D=180 Н11 СТП978.79.01.04. Цей метод контролю частіше використовують у великосерійному й масовому типі виробництва, пояснити застосування цієї пробки в нашому дрібносерійному виробництві можна лише тим, що вона просто є в наявності на складі у цехах підприємства, тому її можна використовувати навіть при контролюванні невеликих партій деталей. Для контролювання товщин стінок кільцевої поверхні $\varnothing 226/\varnothing 180$ застосовують штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ166-89.

Для захисту робітника від відлітаючої у процесі оброблення стружки використовують спеціальне огороження Е4-264.

Оправка П2-283 для кріплення розточного різця дозволяє здійснити також і радіальне переміщення різця, цим забезпечують оброблення торцевої поверхні заготовки $\varnothing 223$. Також це забезпечує отримання взаємно перпендикулярних поверхонь – торця $\varnothing 223$ та отвору $\varnothing 180$, що необхідно при базуванні по ним на наступних операціях обробки.

Розглядаємо операцію 095 фрезерну.

Верстатний пристрій: магнітний стіл П9-269, що включають від пульта верстата або за циклу роботи. Діаметр стола верстата - 1000 мм, це дозволяє встановити одночасно для оброблення до 7 плунжерів Для підвищення надійності установа, поліпшення базування й захисту від можливого відривання заготовки в процесі оброблення, по периметру стола встановлюють обмежувальне кільце та змінні упори П5-1108.

Ріжучий інструмент: фреза спеціальна торцева насадна ступінчаста $\varnothing 315$ мм, оснащена різальними вставками з ельбора. Фреза дозволяє здійснювати високопродуктивне оброблення площин деталей з чавуну з якістю обробки: шорсткість $Ra=1,25-0,63$ мкм, неплоскостність 0,01/350 мм. На відміну від шліфування таке фрезерування має низку переваг: продуктивність вище, низька теплонапруженість процесу оброблення, значна розмірна стійкість фрези.

Торцева фреза містить 48 різальних вставок, установлених у 8 рядків, по 6 різальних вставок у кожному рядку. Цим реалізовано ступінчасту схему розбивання припуску по 0,2 мм на кожен рядок або $0,20 \times 8 = 1,60$ мм - загальний припуск оброблення.

Вимірювальний інструмент:

- установ А, вимірювання величини одержуваного попереднього розміру – штангенциркуль ШЦ-I-250 0,1 ГОСТ166-89;
- установ Б, для контроль остаточного розміру на даній операції – скоба $180f7$.

Для вимірювання величин перпендикулярності площин торців, оброблених на цій операції, та циліндричної поверхні отвору $D=185$ мм застосовують кутник КПЛ-0-250 по ГОСТ3749-80. Щільність прилягання площини плунжера до магнітного стола перевіряють щупом №2-100 по ГОСТ 884-79. Чистоту оброблення торців плунжера контролюють зразками шорсткості ГОСТ9378-79.

Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування
Верстатів та інструментів

2.7 Розрахунок режимів різання

Розглянемо 020 токарно-гвинторізну операцію: для 1 переходу обробки отвору в розмірі $\varnothing 180^{+0,250}$ проведемо розрахунок режимів різання.

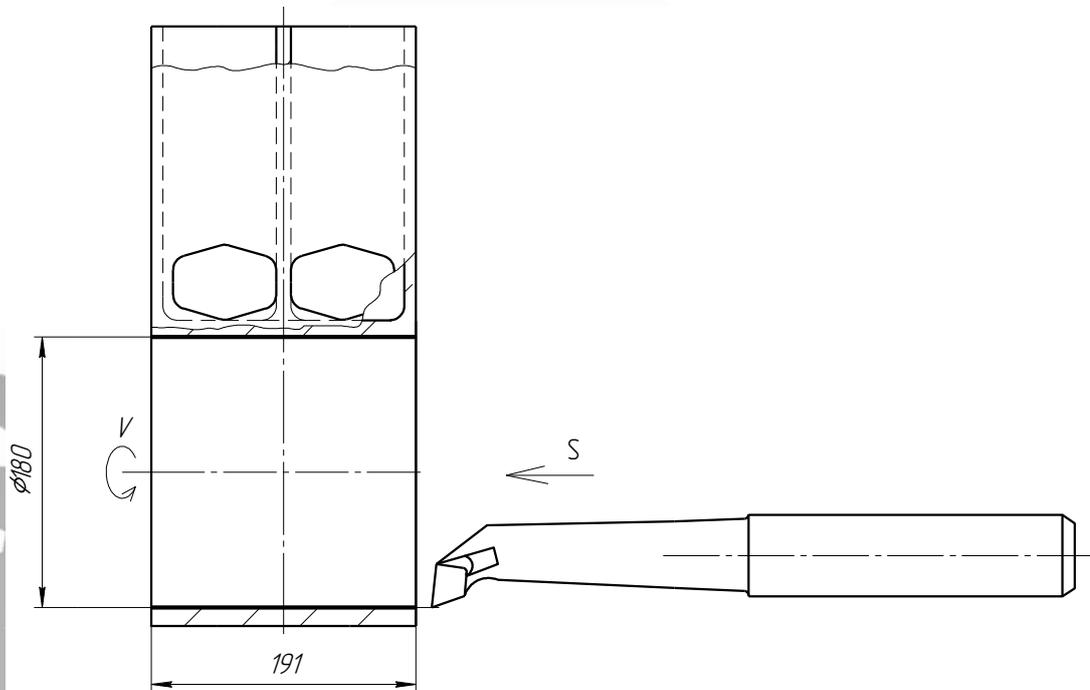


Рисунок 2.6 – Ескіз операції 020 для знаходження режимів різання

Вихідними даними для розрахунків є:

одержуваний шляхом розточування діаметр – $d = 180,0$ мм;

токарно-гвинторізний верстат мод. 1М63Б;

заготованка – литво;

межа міцності $\sigma_{\text{вм}} = 209$ МПа (оброблюваний матеріал – чавун СЧ20 по ГОСТ 1412-85);

шорсткість оброблення $Ra=12,5$

діаметр отвору заготованці – 175,0 мм;

довжина отвору – 196,0 мм.

а) Призначимо величину глибини різання:

$$\text{значення припуску на бік буде: } \Delta = \frac{|D-d|}{2} = \frac{|175,0-180,0|}{2} = 2,50 \text{ (мм)}.$$

Тому призначаємо для R_a 12,5 та IT 12 глибину:

$$\Delta = 2,50 \text{ мм}.$$

б) вибір різця та його геометричних параметрів.

Згідно з [7] назначаем токарний розточувальний різець по ГОСТ 19882-76 з пластинками з твердого сплаву ВК8 та кутом $\varphi = 60^\circ$ й $\varphi_1 = 31^\circ$, з радіусом при вершині $R = 1,0$ мм. Різець оснащено різальною пластиною типу II по ГОСТ 2208-85. Маємо позначення обраного різця: 2143-0069. Значення заднього куту $\alpha = 8^\circ$, переднього $\gamma = 1^\circ$. Значення кута нахила головної різальної кромки $\lambda = 0^\circ$. Маємо кріплення твердосплавної пластини методом пайки з латунним припоєм Л63 або аналогічним складом.

Величина подачі на чорновій обробці обмежується припустимою міцністю різальної пластини й міцністю самої державки різця.

Тоді величина подачі, що допускається міцністю пластини буде:

$$[S_o]_{\text{пла}} = y_{pz} \sqrt{\frac{30,30 \cdot a^{1,350}}{C_{pz1} \cdot t^{x_{pz1}-0,770} \cdot K_{pz1} (\sin \varphi)^{0,80}}} \text{ мм/об}, \quad (2.6)$$

де товщина пластини $a = 2,40$ мм,

$C_{pz1} = 92$ – це коефіцієнт [7, табл. 214, с. 271]; $x_{pz1} = 1,10$; $y_{pz1} = 0,760$ – показники степенів [7, табл. 22, с. 279];

$K_{pz1} = K_{\varphi_{mp1}} \cdot K_{r_{pz1}} \cdot K_{\gamma_{pz1}} \cdot K_{\lambda_{pz1}}$ – поправковий коефіцієнт,

$$K_{mp1} = \left(\frac{HB}{191}\right)^n = \left(\frac{195}{191}\right)^{0,40} = (1,04)^{0,40} \approx 1,06 - \text{ поправковий коефіцієнт матеріалу}$$

плунжера, згідно з [7, табл. 8, с.261].

Також згідно з [7, табл.21, с.278] обираємо поправкові коефіцієнти геометричних параметрів розточного різця: $K_{\varphi_{pz}} = 0,920$; $K_{\gamma_{pz}} = 1,1$; $K_{r_{pz}} = 0,920$; $K_{\lambda_{pz}} = 1,0$.

$$\text{Тоді } K_{pz1} = 1,04 \cdot 0,920 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,920 = 1,04.$$

$$\text{Маємо } [S_o]^{0,750} = 0,75 \sqrt{\frac{30,30 \cdot 2,5^{1,350}}{92 \cdot 2,5^{(1,0-0,77)} \cdot 1,02(\sin 60^\circ)^{0,8}}} \approx 1,01 \text{ (мм/об.)}$$

Значення подачі, допускаємої міцністю державки розточного різця:

$$[S_o]_{\text{окрж2.}} = y_{pz} \sqrt{\frac{B \cdot H^2 \cdot \sigma_{u2}}{60 \cdot C_{pz2} \cdot t^{x_{pz2}} \cdot K_{pz2} \cdot l}}, \text{ (мм/об.)} \quad (2.7)$$

де $B = 42,0$ мм – різцевої державки ширина,

$H = 20,0$ мм – різцевої державки висота,

$\sigma_{u2} = 0,42$; $\sigma_{B3} = 743$ МПа – припустиме значення напруження вигина матеріала державки різця зі сталі 40Х;

$l = 191,0$ мм – значення вильоту різця.

$$\text{Маємо } [S_o]_{\text{додат.}} = 0,75 \sqrt{\frac{40 \cdot 32^2 \cdot 750}{60 \cdot 92 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 1,01 \cdot 182}} \approx 2,8 \text{ (мм/об.)}$$

Знайдені значення $S_{об}$, дорівнюючі 1,01 и 2,8 мм/об, є зависокими в порівняннях з рекомендованим значенням згідно з таблицею 12 [7, с.269].

Рекомендованим значенням з чорним розточуванням чавуну СЧ різцями із перетинами 42x20 мм, вильотом 188 мм та глибинах різання до $t = 4,2$ мм:

$$S = 0,22 - 0,35 \text{ мм/об.}$$

Приймаємо подачу $S = 0,34$ мм/об.

Тоді величина швидкості різання буде:

$$V_{\text{расч2}} = K_{nv} \cdot \frac{C_v}{T^m \cdot t^{xv} \cdot 2 \cdot S_o^{yv2}} \cdot K_{mv2} \cdot K_{rv} \cdot K_{av} \cdot K_{\phi v2}, \quad (2.8)$$

де $C_{v2} = 292$ – значення коефіцієнту [7, с. 270];

$T = 53$ хвилин – це середня величина стойкості інструмента [7, с.269];

$x_{v2} = 0,140$; $y_{v2} = 0,220$; $m = 0,220$ - це показники ступеня [7, с.273];

$$K_{mv2} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{nv2} = \left(\frac{191}{190}\right)^{nv2} = 1,02 - \text{це поправковий коефіцієнт по матеріалу}$$

заготовки [7, с.261];

$K_{nv2} = 0,81$ – поправковий коефіцієнт станом поверхні заготовки [7, с. 262];

$K_{uv2} = 0,81$ – це поправковий коефіцієнт інструментального матеріала [7, с.262];

$K_{\varphi v2} = 0,93$ – це поправковий коефіцієнт з кута φ [7, табл.15, с.262];

$K_{\varphi l2} = 0,92$ – це поправковий коефіцієнт з кута φ_l [7, табл.15, с.262];

$K_{rv2} = 1,10$ – це поправковий коефіцієнт за радіусом з вершини різця [7, с. 262].

Маємо:

$$V_{расч2} = \frac{291}{50^{0,20} \cdot 2,50^{0,14} \cdot 0,35^{0,20}} \cdot 1,01 \cdot 0,82 \cdot 0,84 \cdot 0,90 \cdot 0,92 \cdot 1 = 83,90 \text{ (м/хвилини)}.$$

Звідси частота обертаннів шпинделю буде:

$$n_{расч3} = \frac{1000 \cdot V_{расч3}}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 83,91}{3,14 \cdot 111} = 221 \text{ (ооберт/хвлин)}.$$

Зкоригуєм по паспорту верстата, $n = 225$ оберт/хвилини.

Уточнемо величину швидкості різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 176 \cdot 221}{1000} = 120,7 \text{ (мм/хвил)}$$

Далі визначемо силу й потужність процесу різання.

Складові сили різання (тангенціальна P_{z2} , осьова P_{x2} й радіальна P_{y2}) визначаються по формулі:

$$P_{z2,x2,y2} = 10 \cdot C_p \cdot t^{x2} \cdot V^{n2} \cdot S_o^{y2} \cdot K_{mp} \cdot K_{\gamma p2} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\lambda p2} \cdot K_{rp2}, \quad (2.9)$$

де $C_{pz2} = 90$ [7, таб. 22, с.272];

$y = 0,850$; $x = 1,0$; $n = 0$ [7, таб. 22, с.272];

$$K_{mp2} = \left(\frac{HB}{190} \right)^{n1} = \left(\frac{191}{190} \right)^{n1} = 1,0 \text{ [7, таб. 7, с.261];}$$

$K_{\varphi p2} = 0,940$; $K_{\gamma p2} = 1,1$; $K_{\lambda p2} = 1,0$; $K_{rp2} = 0,91$ [7, таб. 20, с.273].

Маємо $P_{z2} = 10,0 \cdot 90 \cdot 2,50^{1,1} \cdot 0,35^{0,850} \cdot 121,8^0 \cdot 1,0 \cdot 0,91 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,91 = 902,4$ (Н).

$$\text{Потужність різання: } N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{902,4 \cdot 120,7}{1020 \cdot 60} = 1,71 \text{ (кВт)}.$$

Як бачимо, отримане значення 1,71 кВт менше розвиваємого верстатом (15,0 кВт), тобто нормальна обробка є можливою зі знайденими режимами різання.

Розглянемо 095 фрезерну операцію на установі Б, фрезерування торцеве $180f7$.

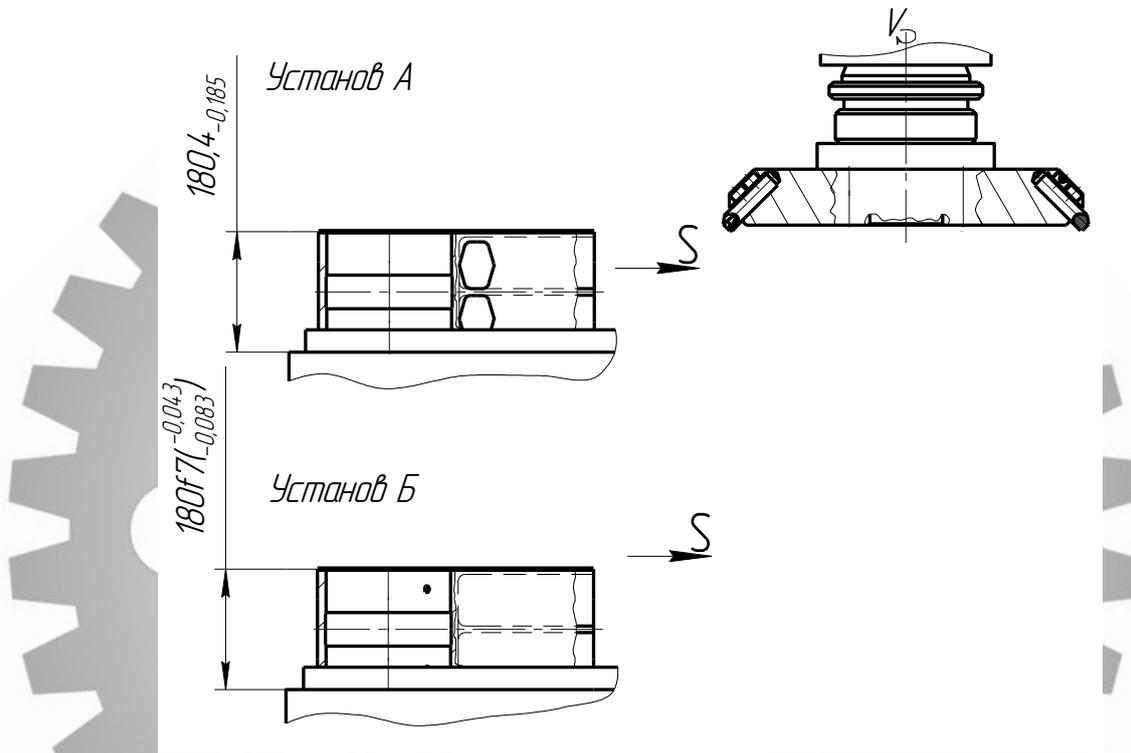


Рисунок 2.7 – Ескіз операції 095 для знаходження режимів різання

Знаходимо глибину різання: $t = 181,3 - 181,1 = 0,20$ (мм).

Далі вибіраєм надтвердий композит по таблиці 2 [22, с.7]: для чистових та напівчистових обробок чавуну HB140...340 рекомендовано марку композита 01.

Обіраємо конструкцію фрези відповідно до [22, с. 8] при обробленні великих площин з $t < 0,40$ мм та $Ra = 0,63...1,25$ мкм маємо рекомендованими торцеві фрези із вставними ножами із регулюванням їх в осьових напрямках з биттям торцевим не більш 0,01 мм.

Обиремо діаметр фрези. Відповідно до [22, с.10] для ширини фрезерування 211 мм рекомендовано діаметр фрези D315 мм.

Далі - типорозмір торцевих фрез. Згідно з [22, с. 11] маємо для фрези D 315 мм рекомендовану кількість ножей $z = 48$ (16 штук в одній ступіні, всього 3 ступені).

Знаходимо для торцевих фрез геометричні параметри ріжучої частини. Згідно з [22, с. 10] та згідно з кресленням різальної вставки, різальні вставки для обробки сірого чавуну HB141...365 повинні мати наступні геометричні параметри: $\lambda = 11^{\circ}$, $\gamma = -14^{\circ}$; $\alpha = 10^{\circ}$; $\alpha_1 = 11^{\circ}$; $\varphi = 45,0^{\circ}$; $\varphi_1 = 13^{\circ}$;

Знаходимо критерії затуплення фрези. Згідно з [22, с. 13] для інструмента для тонкої обробки обиремо величину допустимих зношень кромки: $h_{z2} = 0,20-0,30$ мм.

Знаходимо подачу на один зуб фрези. Згідно з [22, с. 13] для фрези торцевої регульованої зі вставними ножами та обробці сірого чавуну HB 14...325 з головним кутом у планах $\varphi = 45,0^{\circ}$ й шорсткістю оброблюваної поверхні Ra 0,25-0,63 мкм, маємо подачу на зуб: $S_z = 0,10$ мм/зуб.

Знаходимо швидкість різання. Згідно з [22, с.55] формула швидкості різання є наступною:

$$V_T = \frac{C_{V2}}{T^{m2} t^{x_{V2}} S^{y_1}} \text{ (М/ХВ.)} \quad (2.10)$$

де y_{v2} , C_{v2} , x_{v2} , m_2 - постійні показники й коефіцієнти, що залежать от інструментального та оброблюваного матеріала,

$$V = V_{T2} \cdot K_{T2} \cdot K_{HRC2} \cdot K_{\left(\frac{B_{02}}{D}\right)} \cdot K_{\left(\frac{B2}{D}\right)} \text{ (М/ХВ.)} \quad (2.11)$$

Коефіцієнт поправки на швидкість різання згідно з [22, с.19] при обробленні сірого чавуну HB158: $K_{HRCv2} = 1,2$.

Коефіцієнт поправки на швидкість різання Згідно з [22, с. 28] визначим коефіцієнт поправки в залежності від періодів стойкості фрези, для $T = 241$ хвилин та при обробленні сірого чавуну:

$$K_{Tv2} = 1,30.$$

Коефіцієнт поправки швидкості різання для ширини фрезерування й діаметрів фрез: згідно з [22, с. 23] маємо:

для оброблення чавунів з діаметром фрези 315мм та шириною фрезерування 211 мм - маємо $K_{\left(\frac{B}{D}\right)_{V_2}} = 1,050$.

Згідно з [22, с. 29] знаходимо коефіцієнт поправки зі швидкості різання для відносних зміщень фрези і заготовки з несиметричними фрезеруваннями чавунів фрезою з композиту: оскільки фрезерування у нас симетричне, то $K_{\left(\frac{B_0}{D}\right)_{V_2}} = 1,2$.

Згідно з [22, с. 50] з обробленням чавуну сірого НВ158 інструментом з композит 01 будуть такі величини коефіцієнтів поправки:

$$m = 1,12; C_{V_2} = 202 \cdot 10^3; x_{V_2} = 0,14; y_{V_2} = 0,32.$$

Маємо швидкість різання V_{T_2} :

$$V_o = \frac{207 \cdot 10^3}{240^{1,12} \cdot 0,2^{0,16} \cdot 0,1^{0,37}} = 1274 (\text{м/хв.})$$

Розрахункове значення швидкості різання:

$$V = 1274 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,02 \cdot 1,0 = 18496 (\text{м/ хв})$$

Далі знаходимо розрахункову величину частот обертів:

$$n_{расч.} = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 1849}{3,14 \cdot 315} = 1868 (\text{м/хв})$$

Оскільки шпиндель має частоту обертання $n_{пр.} = 1550$ об/хв, тоді будемо мати швидкість різання такою:

$$V_{факт.2} = \frac{\pi D n_{пр.}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 315 \cdot 1550}{1000} = 1482 (\text{м/хв.})$$

Знаходимо потужність та сили різання.

Згідно з [21, с. 51-52] знаходимо тангенціальну силу:

$$P_{Z_2} = P_{Z_2} \cdot m, \quad (2.12)$$

$$P_{Z_2}^* = C_{P_2} \cdot S^{y_{P_2}} \cdot t^{x_{P_2}} \cdot V^{z_{P_2}} \quad (2.13)$$

m – кількість працюючих зубів одночасно у фрезі, шт.

З симетричною схемою оброблення торцевою фрезою знаходимо:

$$m = \frac{\arcsin 2 \frac{B}{D} \cdot z}{180^{\circ}} = \frac{\arcsin 2 \frac{255}{315} \cdot 46}{180^{\circ}} = 4 \quad (2.14)$$

Згідно з [22, с. 51] при обробленні чавуна сірого маємо:

$$y_{Pz2} = 0,84; C_{P2} = 1411; x_{Pz2} = 1,01; z_{Pz2} = -0,44.$$

$$\text{Маємо } P_{Z2}^* = 1411 \cdot 0,2^{0,84} \cdot 0,3^{1,01} \cdot 1486^{-0,44} = 2,93 \text{ (кгс)} = 29,55 \text{ (Н)}.$$

$$\text{Величина тангенціальної сили: } P_{Z2} = 29,55 \cdot 4 = 118,2 \text{ (Н)}.$$

Маємо потужність ефективну згідно [22, с. 59]:

$$N_{\text{е2}} = \frac{P_{Z2} \cdot V}{6120} = \frac{118,2 \cdot 1411}{6120} = 23,9 \text{ (кВт)}$$

Бачимо, що отримане нами значення потужності різання менша допустимої потужності двигуна у приводі головного руху (34 кВт), тому умова можливості праці з потужністю двигуна дотримується навіть із деяким запасом.

2.8 Технічне нормування технологічних операцій

2.8.1 Технологічна операція 020.

Розточуємо отвір з $D=175,0\text{мм}$ до $D=182,0\text{мм}$; торцюємо в розмірі з $D=182,0\text{мм}$ до $D=220,0\text{мм}$.

Величину основного часу шукаємо таким чином

- для розточування згідно з [2] довжину ходу розточувального різця знаходимо:

$$L = l_{01} + l_{02} + l_0, \quad (2.15)$$

маємо L – довжину ходу розточувального різця,

l_{01} та l_{02} – значення врізань і перебегу розточувального різця.

Знаходимо врізання для глибини до $3,0\text{ мм}$ та кут $\varphi = 50^\circ$, $l_{01} = 5,0\text{ мм}$.

Маємо перебіг величиною $l_{02} = 4,0\text{ мм}$.

Маємо довжину $L = 192,0 + 5,0 + 4,0 = 200,0\text{ (мм)}$.

Тоді основний час на переході згідно з [2]:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S_o} \cdot i = \frac{200}{220 \cdot 0,35} \cdot 2 = 2,7 \text{ (хв.)}$$

- для торцювання отвору $D = 182,0 / D = 220,0$:

$$T_o = \frac{114}{220 \cdot 0,37} \cdot 1 = 1,33 \text{ (хв.)}$$

де $\varnothing 220\text{ мм}$ – значення більшого діаметра розточування,

$\varnothing 182,0\text{ мм}$ – значення меншого діаметра,

$l_1 = 5,0\text{ мм}$; $l_2 = 4,0\text{ мм}$ – значення врізання та перебігу розточувального різця,

$i = 1$ – значення кількості проходів різця.

Тоді визначимо значення допоміжного часу. Маємо згідно з [2] допоміжний час такий

$$T_e = T_{zo.3} + T_{yc.3} + T_{вим3} + T_{уп.3}, \quad (2.16)$$

де $T_{zo.3}$ – значення часу відкріплень плунжера;

T_{yc3} – значення часу на встановлення та зняття плунжера,

$T_{yp.3}$ – значення часу на прийоми керування верстатом,

$T_{вим.3}$ – значення часу на вимірювання плунжера.

Наведені в додатках 5 [9] нормативи дають інформацію, що для серійного типу виробництва маємо коефіцієнт $K = 1,86$.

Тоді значення часу на встановлення й зняття плунжера вручну з масою деталі 12,0 кг в трикулачковому патроні при закріпленні ключем $T_{yc.3} = 0,40$ хв.

Значення часу на закріплення й відкріплення плунжера в спеціальному пристрої згідно з [2] маємо $T_{zo.3} = 0,30$ хвилин.

Шукаємо значення часу на прийоми керування верстатом згідно з [2]:

- включення або вимкнення верстата $t_{e2} = 0,010$ (хв.);
- підведення або відведення різця до плунжера з двома обробками маємо: $t_6 = 0,027 \cdot 2 = 0,06$ (хвилин);
- закриття або відкриття огорожі від відлітаючих стружок (подвіно: $t_{e3} = 0,021 \cdot 2 = 0,042$ (хвилин).

Маємо разом: $T_{yp.3} = 0,010 + 0,06 + 0,042 = 0,12$ (хвилин).

Значення часу вимірювань плунжера згідно з [2]: за допомогою калібра - пробкою гладкою при точності вимірювань до IT10: $t_{вим.3} = 0,041$ хв., за допомогою універсального інструмента - штангенциркуль при точності вимірювань 0,10 мм - маємо $t_{вим.3} = 0,140$ хвилин.

Маємо разом: $T_{вим.3} = 0,041 + 0,140 = 0,181$ (хвилин).

Значення сумарного допоміжного часу на операцію таке:

$T_{e.3} = 1,86 \cdot (0,40 + 0,20 + 0,110 + 0,180) = 1,690$ (хвилин).

Значення штучно-калькуляційного часу на операції:

Згідно з джерелом [2] маємо:

$$T_{шт-к3} = T_{ум3} + \frac{T_{п.-3.3}}{m_3} \quad (2.17)$$

Значення часу штучного

$$T_{штучнз} = T_{оснз} + T_{донз} + T_{обсз} + T_{відпз} \quad (2.18)$$

Значення часу на перерви й відпочинки та особисті потреби таке:

$$T_{i\dot{o}.} = \frac{4}{100} \cdot (\dot{O}_i + \dot{O}_a) = \frac{4}{100} \cdot 6,09 = 0,25 \text{ (хвилин)}.$$

Значення часу на обслуговування робочих місць таке:

$$T_{i\dot{a}.} = \frac{2,5}{100} \cdot (\dot{O}_i + \dot{O}_a) = \frac{2,5}{100} (2,6 + 1,44 + 2,05) = 0,17 \text{ (хвилин)}.$$

Значення штучно-калькуляційного часу при урахуванні партії деталей $n = 84$ шт. з підготовчо-заключним часом $T_{підг.-закл.з} = 9,20$ хвилин:

$$T_{\rho\dot{o}.-\dot{e}.} = \frac{9}{83} + 4,3 + 2,05 + 0,15 + 0,24 = 7,37 \text{ (хвилин)}$$

Тоді прийmemo $T_{штучн-калькз} = 7,50$ хвилин.

2.8.2 Технологічна операція 095.

На операції фрезеруємо торець плунжера в розмір 180,20 мм; далі переустановлюємо та робимо розмір $180f7$ мм товщини.

Знайдемо норми штучно-калькуляційного часу у відповідності до [13]:

$$T_{шт-калькз} = T_{штучн} + \frac{T_{п-заклю}}{m} \quad (2.18)$$

$$T_{штучн} = T_{ос} + T_{допом} + T_{обсл} + T_{відпоч} \quad (2.19)$$

Визначимо значення основного часу таким чином:

$$T_{ос} = \frac{l_{роб.ходу}}{S_{хвил.}}, \quad (2.19)$$

де $S_{хвил.}$ – значення хвилинної подачі в мм/хв.,

$l_{роб.ходу}$ – значення робочого ходу в мм.

Маємо значення подачі (хвилинна):

$$S_{хвил.} = S_z \cdot n \cdot z = 0,110 \cdot 1560 \cdot 44 = 7550 \text{ (мм/хв.)}.$$

Значення фактичної хвилинної подачі у магнітного столу модернізованого верстата моделі 3E756: $S_{хвил.факт.} = 1250$ мм/хв.

Відповідно до [13] маємо:

$$l_{робоч.ходу} = l + y \quad (2.20)$$

де y – підведення фрези у мм. Згідно до таблиці 23 [13, с.51] при діаметрі торцевої фрези $D_{фр} = 315$ мм та ширині оброблення 288 мм : $y = 64$ мм.

Величина довжини шляху l , здійснювана фрезою за 1 оберт стола верстата мод. 3E756:

$$R_{стола} = (D_{стола} / 2) - (D_{фр} / 2) \quad (2.21)$$

$$R_{стола} = 1100 / 2 - 315 / 2 = 392,5 \text{ (мм);}$$

$$\text{Звідси } D_{стола} = 2 \cdot R = 785 \text{ (мм)}$$

Величина l дорівнюватиме довжині дуги кола, яке проходить торцева фреза $D_{фр} = 315$ мм за 1 оберт стола верстата:

$$l = \pi \cdot D = 3,14 \cdot 785 = 2464 \text{ (мм);}$$

$$\text{Маємо: } l_{роб.ход.} = 2464 + 64 = 2528 \text{ (мм).}$$

Величину основного часу знаходимо так:

$$T_{ос} = 2528 / 1100 = 2,29 \text{ (хв.)}$$

Розрахуємо величину допоміжного часу:

$$T_v = T_{з.в.} + T_{у.с.} + T_{вимір} + T_{управлін.} \quad (2.22)$$

При обробленні плунжерів торцевими фрезами, що встановлені на розміри, величина часу встановлення й зняття плунжера з вагою до 21 кг:

$$T_{у.с.} = 0,09 \text{ (хв.);}$$

Для встановлення 12 плунжерів будемо мати час:

$$T_{у.с.} = 0,09 \cdot 12 = 1,08 \text{ (хв.)}$$

Тоді час на закріплення та відкріплення плунжерів на магнітному столі модернізованого верстата мод. 3E756 буде таким:

$$T_{з.в.} = 0,05 \text{ хвилини.}$$

Переміщення стола верстата у вихідну позицію займає такий час:

$$T_{управлін.1} = 0,14 \text{ хвилини;}$$

Прийоми керування столом верстата мод. 3E756 при довжині 1850 мм:

$$T_{управлін.3} = 0,03 \text{ хв.}$$

Маємо величину часу переміщень стола верстата мод. 3E756 з вихідної позиції до робочої позиції:

$$T_{\text{управлін. 3}} = 0,18 \text{ хвилини.}$$

Маємо сумарний загальний час на керування:

$$T_{\text{управлін}} = T_{\text{управлін.1}} + T_{\text{управлін.2}} + T_{\text{управлін.3}} = 0,03 + 0,14 + 0,18 = 0,33 \text{ (хв.)}$$

Шукаємо витрати часу з обслуговування місця роботи для фрезерування: беремо 5 процентів від оперативного часу. Звідки матимемо:

$$T_{\text{обслуг.}} = 0,05 \cdot (2,29 + 1,95) = 0,23 \text{ (хв.)}$$

Шукаємо час на відпочинки й особисті потреби, беремо 4 відсотки від оперативного часу. Маємо час:

$$T_{\text{від.}} = 0,04 \cdot (2,29 + 1,95) = 0,19 \text{ (хв.)}$$

Визначимо час на вимірювання розмру плунжера (квалитет IT7):

$$T_{\text{вимір}} = 0,15 \text{ хв}$$

Маємо величину загального допоміжного часу:

$$T_{\text{доп}} = 0,33 + 1,08 + 0,23 + 0,19 + 0,15 = 1,95 \text{ (хв.)}$$

В результаті знаходимо:

$$T_{\text{штучн.}} = 2,29 + 1,95 + 0,18 + 0,19 = 4,41 \text{ (хв.)}$$

Заходимо час на наладку верстата мод. 3E756 та установку фрези. Це підготовчо-заклучний час величиною:

$$T_{\text{п.-з.}} = 16,8 + 4,41 = 21,21 \text{ (хв.)}$$

При кількості плунжерів в одній партії $n = 84$ шт. маємо:

$$T_{\text{штучно-к.}} = 4,41 + 21,21/84 = 4,66 \text{ (хв.)}$$

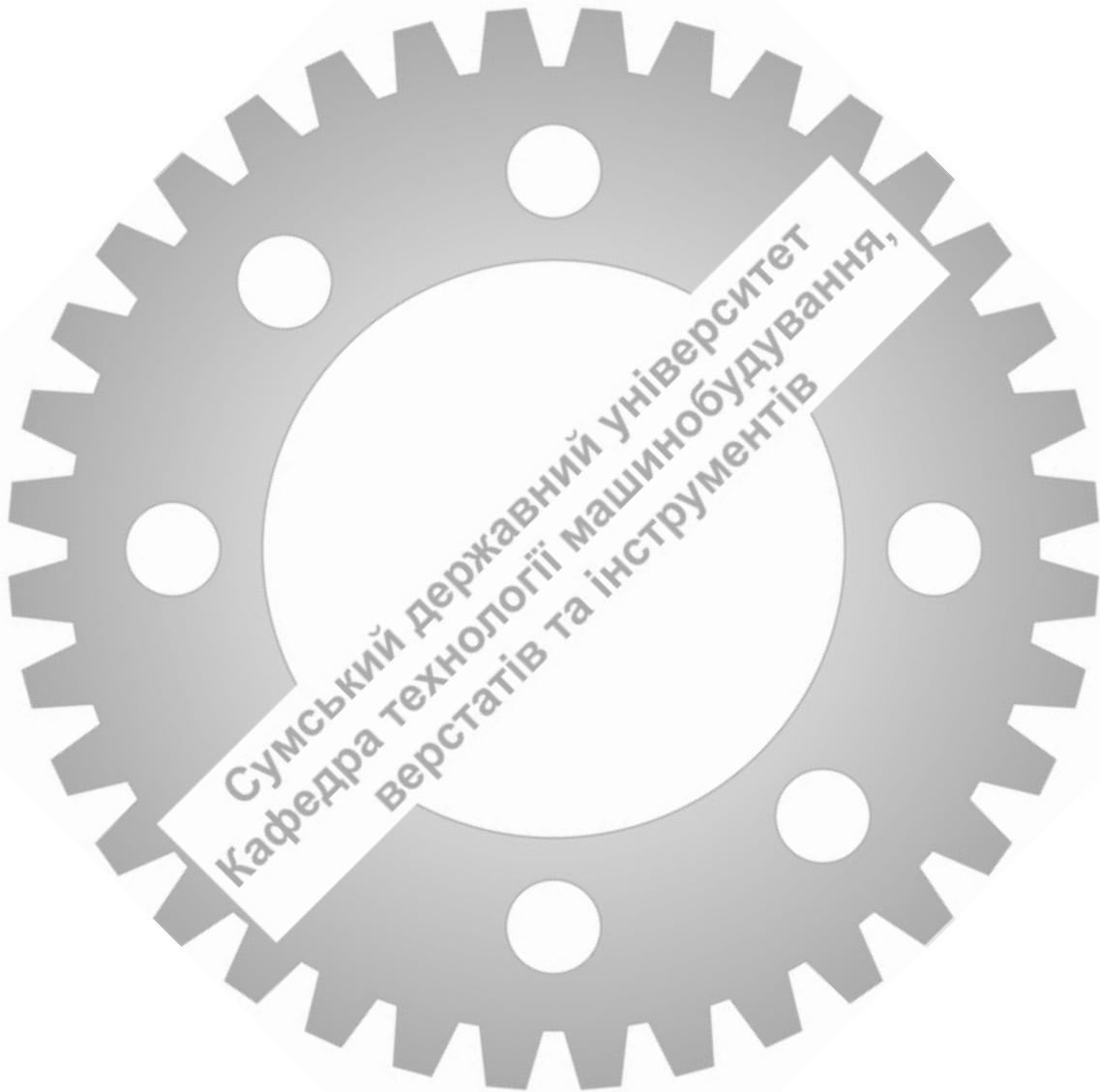
Необхідно подвоїти всі складові $T_{\text{штучно-к}}$, оскільки маємо ідентичний установ Б з аналогічним змістом робіт.

В таблицю 2.7 нормування занесемо всі результати розрахунків.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунків при нормуванні операції 095

№ і назва операції	$T_{\text{ос}}$	$T_{\text{допоміж.}}$			$T_{\text{оп.}}$	$T_{\text{об.}}$	$T_{\text{відп.}}$	$T_{\text{шт.}}$	$T_{\text{підг.-зак.}}$	n	$T_{\text{штучно-к.}}$
		$T_{\text{уст.}} + T_{\text{зв}}$	$T_{\text{упра}}$	$T_{\text{вим.}}$							
токарно-	4,30	0,7	0,14	0,18	3,48	0,14	0,23	3,9	9,2	84	7,5

гвинторіз- на 020		2,04									
фрезерна 095	4,58	2,26	0,66	0,30	8,48	0,46	0,38	8,82	42,42	84	9,33
		3,9									



2.9 Проектування спеціального верстатного пристрою

Для операції горизонтально-фрезерної 100 спроектуємо спеціальний верстатний пристрій для обробки мастильних канавок деталі плунжера (розміри R50; 3,0; 146; 1,50). Застосування такого спеціального пристрою підвищує точнісні параметри горизонтально-фрезерної операції, зменшує трудомісткість обробки заготовки плунжера.

2.9.1 Обґрунтування мети технологічної операції, визначення результатів виконання горизонтально-фрезерної операції

На цій операції маємо сформувані три лінійних розміри: 146; 3 та 1,5 і один радіусний – $R=50$. Оскільки маємо розмір 146,0 вільним, то допуск згідно з технічними вимогами беремо по 14 квалітету точності, це згідно з ГОСТом 25347-85 становить 1000 мкм.

Вільним задано і розмір 3,0, тому допуск беремо за IT14 за ГОСТом 25347-85. Маємо T , що дорівнює 250 мкм.

Також вільним заданий і розмір 1,5, тому беремо допуск за 14 квалітетом, що надає $T = 250$ мкм згідно ГОСТ 25347-85.

Крім цього радіус $R=50,0$ заданий теж вільним, допуск $T = 250$ мкм відповідно ГОСТу 25347-85.

Оскільки точність форми не обумовлено, тому приймаємо їх допуски в межах допусків на відповідні розміри з креслення.

Тоді допуск площинності стінки паза при номінальному розмірі 3 мм і ступеню точності 14, маємо допуск по ГОСТ 24647-85 $T = 100$ мкм.

Величина допуску симетричності стінок паза не задана на кресленні плунжера. Тоді величину допуску беремо в межах відповідного допуску 3,0 мм. Це відповідає 13 ступеню точності згідно з ГОСТ 24649-85, $T = 200$ мкм.

Величина допуску паралельності дна паза теж є не заданою на кресленні плунжера. Тоді допуск паралельності перебуватиме в межах

допуску довжини пазу $(146,0-185,0) / 2 = 53,50\text{мм}$. Маємо по ГОСТ 24649-85 11-ту ступінь точності, при цьому значення по таблиці допуску становить 100 мкм.

Шорсткість обробки складає $Ra = 6,3$ мкм згідно з кресленням плунжера.

2.9.2 Схеми базування і закріплення заготовки плунжера

Як головна базова поверхня є торець плунжера величиною 410 мм. Він є установчою базою, позбавляє плунжер три ступені свободи, а саме двух обертань та одне лінійне переміщення. Як база ця поверхня не буде перешкоджувати фрезі обробляти канавку. Обробку мастильних канавок робимо на обоїх боках плунжера (два установи), тоді і другий торець плунжера виконуватиме також функцію встановлювальної бази.

Як подвійна опорна база є поверхня отвору $\varnothing 185\text{мм}$, що позбавлятиме плунжер двух ступенів волі, а саме двух переміщень. При цьому має виконуватись умова, що висота центруючої оправки пристрою має бути меншою висоти плунжера, тобто 160,0 мм.

Як опорна база є поверхня хвостовика заготовки з перетином $60\text{мм} \times 120\text{мм}$, що позбавлятиме плунжер однієї ступені волі – 1 обертання навколо осі.

Для розміру 146,0 похибку базування знаходимо як максимальний зазор в посадці «отвір плунжера-оправка пристрою»:

отвір плунжера з максимальним відхилення 83 мкм; тоді як оправка $D185,0h6$ містить допуск 28 мкм. Маємо зазор $S = 83+28 = 111$ (мкм).

Похибка $\varepsilon_{\phi 146,0} = 111$ мкм,

Це є меншим ніж допуск на розмір 146,0 ($T=1100$ мкм).

Згідно з таблицею 2.8, на заготовку плунжера накладені дев'ять однобічних зв'язків. Маємо, що плунжер треба позбавити переміщень по координатам z , та ω_z '.

Будуємо графічне моделювання полів збурюючих сил у взаємозв'язку зі схемою базування плунжера, що необхідно для аналізу взаємних впливів полів збурюючих і полів зрівноважувальних сил.

По рисунку 2.9 маємо, що поля збурюючих сил не зрівноважені, тоді вони потребують прикладання додаткових сил закріплення.

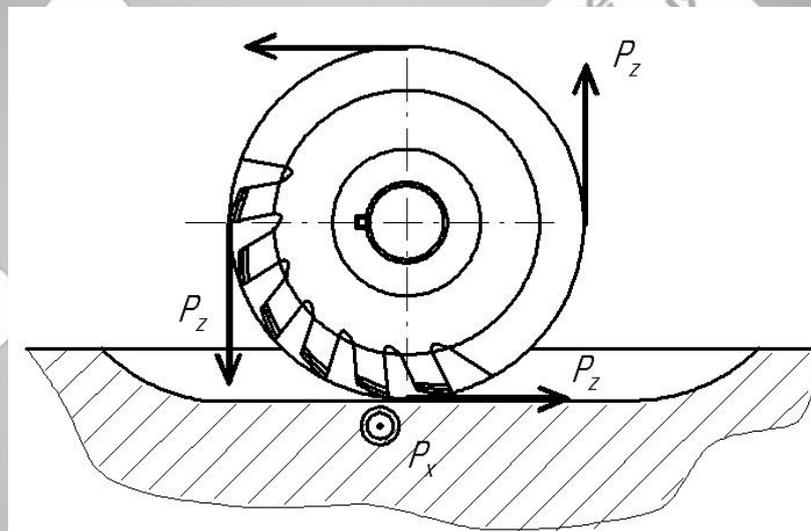


Рисунок 2.9 – Схема структури полів збурюючих сил при фрезеруванні канавки

Згідно з рисунками 2.9 та 2.10, маємо, що складові сил різання P_x зрівноважені реакцією складової R . Тоді і складові сил різання уздовж осі Y також є врівноваженими, тому не вимагатимуть додаткової сили затиску. Тільки складова уздовж осі Z є неврівноваженою.

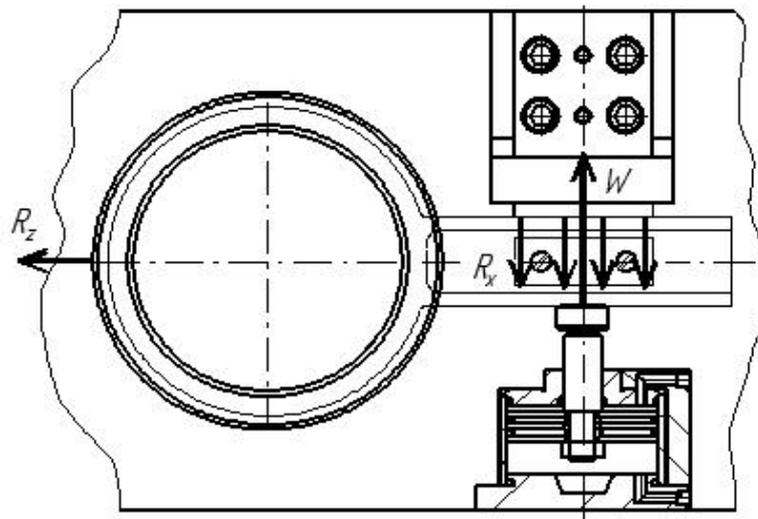


Рисунок 2.10 – Схема структури полів зрівноважувальних сил, яка створена механізмом затиску

Особливі вимоги до однорідності структур силових полів при закріпленні не виникатимуть, оскільки спосіб зрівноваження має головні недоліки - занадто значні витрати енергії для процесу закріплення. Тоді при рівномірному розподілі сили різання виникає можливість до прийняття структур полів виду «локально-дискретних». Виходячи з розглянутою схемою базування робимо конструкцію механізованого упирання для закріплення заготовки, і тоді створиться поле зрівноважувальних сил, що бачимо на рис. 2.10. Заплановано використання механізованого приводу, тому маємо сталу силу закріплення, а похибку закріплення можна прийняти рівною «0»: $\varepsilon_3 = 0$.

Можна побудувати таблицю зв'язків для аналізу структур зв'язків, що виникатимуть під час закріплення плунжера в пристрої.

Прикладена до плунжера сила закріплення W робить перехід зв'язків x , x' , y , y' , z , ω_x , ω_x' , ω_y , ω_y' , ω_z , y повні (з неповних при базуванні). Теж вона реалізовує несутячу пару до комплекта зв'язків - відсутні зв'язки « z » та « ω_z' ».

Значення сили закріплення W розраховуємо витримуючи умову непроворочування від сили різання P_z , а також умову невідриву плунжера від дії складової P_x .

Таблиця 2.9 – Структури зв'язків при закріпленні плунжера в пристрої

Індекс однобічних зв'язків		x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω_x'	ω_y	ω_y'	ω_z	ω_z'
Спо- сіб реа- лі- зації зв'яз- ків	Реакція, Н	R	R	R	R	-	R	R	R	R	R	R	-
	Сила закріп- лення заготовки, W	-	-	-	-	W	-	-	-	-	-	-	W
	Сила тертя, що утримує F	-	-	-	-	F	-	-	-	-	-	-	F

Використовуємо для розрахунків програму «Сила закріплення», яка була розроблена на кафедрі ТМВІ у СумДУ. Маємо результат, що величина сила закріплення:

$$W = 19,390 \text{ кг} = 190,20 \text{ Н (див. роздрук в додатку Д).}$$

Згідно з табличними даними [7, с. 91] знаходимо шукані параметри пневматичного поршневого приводу. Тоді маємо:

величину штовхаючої сили 2700 Н при робочому тиску $P = 0,4$ МПа повітря в мережі забезпечує поршковий пневмоциліндр з діаметром поршня 100 мм і діаметром штока 25 мм.

2.8.3 Розрахунки точності проектного пристрою

Точність оброблення поверхонь плунжера впливає на розрахункові допуски на виготовлення встановлювальних елементів проектного пристрою для фрезерування.

Розрахунковий параметр визначають такий, що в найбільшій мірі впливає на досягнення допусків при обробленні плунжера. Приймаємо, що

до цього параметра відноситься допуск паралельності днища паза та торцевої поверхні плунжера, допуск дорівнює 100 мкм.

Найбільшою мірою впливає на точність отримання цих розмірів установча поверхня центруючої оправки з опорною пластиною та установча поверхня основи-плити пристрою (точність їхнього взаємного розташування з допуском паралельності).

Тоді допускаєма похибка виготовлення елементів верстатного пристрою за параметром паралельності дорівнюватиме значенню:

$$\varepsilon_{np//} \leq T_{//} - K_{T0} \cdot \sqrt{(K_{OT1} \cdot \varepsilon_{\delta 0})^2 + \varepsilon_{B1}^2 + \varepsilon_{31}^2 + \varepsilon_{3n1}^2 + \varepsilon_{П1}^2 + (K_{T3} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{Позици}^2}, \quad (2.22)$$

де $T_{//} = 100,0$ мкм – величина допуску паралельності дна пазу и торця;

$K_{T0} = 1,2$ – величина коефіцієнту, враховуючого можливий відступ від нормального розподілу складових [14];

$K_{OT1} = 0,8$ – величина коефіцієнту, якщо похибки базування не дорівнюють нулю (ми маємо $\varepsilon_{\delta 1,5} = 35,0$ мкм);

$\varepsilon_{31} = 0$ – величина похибки закріплення плунжера: дія сили закріплення не збігається з напрямком вимірюваного параметра паралельності, бо вони є взаємно перпендикулярними [14];

$\varepsilon_{B1} = 20,0$ мкм – величина похибки установлення пристрою на верстаті, що дорівнює зазору між шпонкою та пазом стола [14];

$\varepsilon_{П1} = 0$ – величина похибки перекошування інструмента (у нас немає напрямних елементів) [14];

ε_{3n1} – величина похибки, що виникає при зносі установлювальних елементів, $\varepsilon_{3n1} = \beta_2 \cdot N_1 = 0,0040 \cdot 3600,0 = 15,0$ (мкм) [14];

$\omega = 14,0$ мкм – величина середньої економічної точності оброблення; при фрезеруванні для квалітета IT8 та розміру 1,50 мм;

$K_{T3} = 0,6$ – це величина коефіцієнту, враховуючого ймовірність похибок оброблення [14];

$\varepsilon_{\text{позиції}} = 0$ – величина похибки позиціонування: у нас відсутні поворотні елементи пристрою;

Тоді маємо похибку пристрою:

$$\varepsilon_{\text{пр//}} \leq 100,0 - 1,20 \times \sqrt{(0,80 \cdot 35,0)^2 + 0^2 + 20,0^2 + 0^2 + 15,0^2 + (0,6 \times 14,0)^2 + 0^2} = 53 \text{ (мкм)}$$

Згідно зі стандартним рядом допусків паралельності: $\varepsilon_{\text{пр//}} = 46$ мкм.

Проставляємо на кресленні пристрою: допуск паралельності установчої поверхні плунжера і установчої поверхні пристрою в зборі - не більше 46 мкм.

2.9.4 Опис принципу дії і побудови верстатного пристрою

Верстатний пристрій працює таким чином. Він встановлюється на верстаті. Плунжер встановлюють на поверхні оправки 3 та опорних пластин 12. Для закріплення плунжера стиснене повітря подають в безштокову порожнину пневмоциліндра 1. Тоді поршень із штоком рухається в протилежний бік, через самоустановлювальний башмак 7 відбувається закріплення плунжера. Для розкріплення плунжера стиснене повітря подають в штокову порожнину пневмоциліндра 1, тоді поршень із штоком та башмаком 7 відходять від заготовки плунжера. Установча поверхня нижньої пластини 12 з установчим торцем оправки 3 знаходяться на одному рівні за висотою. Це забезпечує паралельність площини столу верстата та площин торців плунжера.

Основою 2 спроектований пристрій встановлюють на столі верстата. З метою орієнтування пристрою по шпонковому пазу стола верстата в напрямку поздовжнього переміщення використовують шпонки 14.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗАЛЬНИХ ВСТАВОК ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ НА ЯКІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ ПЛОЩИН ПЛУНЖЕРІВ

Для чистового фрезерування плоских поверхонь використовують торцеві фрези, які оснащені різальними вставками з надтвердими матеріалами, наприклад, з гексаніту-Р. Саме такі фрези застосовуються на Сумському АТ «Насосенергомаш» для оброблення деталей типу «Плунжер» (див. рисунок 3.1).

Одержувана шорсткість обробки залежить від точності розташувань ріжучих крайок вставок торцевої фрези. Зокрема, це точність калібруючої кромки, що виконана паралельною до оброблюваної поверхні заготовки. За рахунок похибки розташування калібруючої кромки, що входить до похибки форми кромки, кінематично утворюється висота одержуваних на оброблюваній поверхні мікронерівностей. На рисунку 3.2 показана схема утворення профілю поверхні з кутовою похибкою розташування калібруючої кромки.

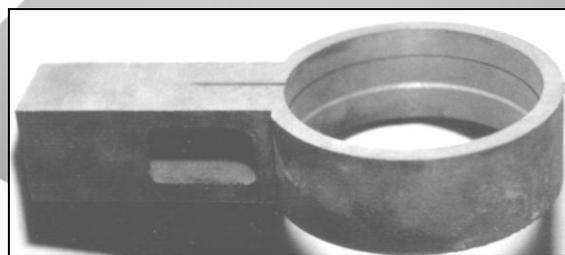


Рисунок 3.1 – Деталь типу «Плунжер», що оброблюється торцевими фрезами з гексанітом-Р

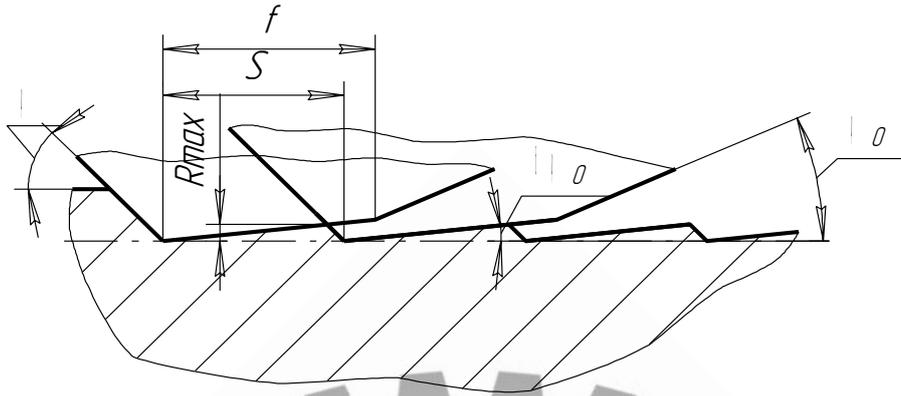


Рисунок 3.2 – Причини утворення профіля оброблюваної поверхні, що має кутову похибку розташування прямолінійної калібруючої кромки вставки

Величина висоти мікронерівностей при торцевому фрезеруванні визначають наступним чином:

$$R_{a \max} = S_0 \frac{\operatorname{tg} \delta \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \delta \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2}, \quad (3.1)$$

де $R_{a \max}$ – це величина максимальної висоти мікронерівностей, мм;

S_0 – це величина подачі, мм/об.;

$\delta \varphi_1$ – це величина кутової похибки розташування калібруючої кромки ріжучої вставки;

φ_2 , град. – це величина головного куту в плані ріжучої вставки.

Визначимо припустиму кутову похибку, використовуючи рівняння (3.1), в залежності від величини необхідної шорсткості обробки площини заготовки. В таблиці 3.1 наведено значення допустимих похибок оброблення.

Таблиця 3.1 – Допустима величина кутової похибки розташування калібруючих кромок ріжучої вставки при довжині кромки більше подачі на оберт

Шорсткість по ГОСТ 2788—79		Подача при $Z = 8$, мм/об.					
R_a , мкм	$R_{a \max}$, мкм	0,50	1,05	1,50	2,00	3,00	4,00
1,50	5,00	0,53	0,26	0,12	0,08	0,04	0,014
0,50	2,50	0,26	0,12	0,08	0,04	0,014	0,007
0,250	1,25	0,12	0,08	0,04	0,014	0,007	0,004
0,125	0,63	0,08	0,04	0,014	0,007	0,004	0,003

Похибка розташування калібруючих кромок ріжучої вставки при багатозубій схемі фрезерування площини може бути проаналізована відносно площини, яку формує найбільш виступаюча калібруюча кромка. При цьому ця похибка буде залежити від суми величин таких похибок:

- величина похибки установки торцевої фрези на шпинделі фрезерного верстата;

- величина геометричної похибки розташування відповідних точок калібруючих кромок ріжучої вставки відносно базових поверхонь фрези;

$\delta_{кус}$ – величина похибки розташування калібруючої кромки ріжучої вставки відносно площини торцевої фрези, мм;

- величина геометричної похибки шпинделю фрезерного верстата:

$$\delta_{кк} = \delta_{ку} + \delta_{уф} + \delta_{ш}, \quad (3.2)$$

де $\delta_{\text{ккр}}$ – величина похибки відносного розташування калібруючої кромки ріжучої вставки багатозубої торцевої фрези при установці на шпиндель верстата, мм;

$\delta_{\text{ш}}$ – величина геометричної похибки шпинделю, тобто торцеве та радіальне биття шпинделю, мм.

$\delta_{\text{уф}}$ – величина похибки установки торцевої фрези на шпинделі верстата, що викликана похибками виготовлення базових поверхонь торцевої фрези, а також допоміжного інструмента та шпинделя верстата, мм;

Якщо торцева фреза є багатозубою, то відносна похибка калібруючої кромки буде залежити від низки чинників. За багатозубою схемою досягти величини похибки, яка дозволить отримувати поверхню з шорсткістю, що не перевищуватиме 4 – 6,5 мкм, технологічно дуже важко, якщо не робити підрегулювання інструмента на шпинделі фрезерного верстата. Так, при значеннях складових похибок, які входять у рівняння (3.2), і що дорівнюють 3,0 мкм, сумарна похибка калібруючої кромки буде здорівнювати

$$\delta_{\text{кк}} = \sqrt{\delta_{\text{ку}}^2 + \delta_{\text{уф}}^2 + \delta_{\text{ш}}^2} = \sqrt{3^2 + 3^2 + 3^2} = 5,1 \text{ мкм.}$$

Такі ж самі результати підтверджують це положення, що наведені в роботах інших дослідників. Так забезпечення формування оброблюваної поверхні однією калібруючою кромкою різальної вставки є можливим лише при виконанні умов:

$$l_{\text{кк}} = (2,5 - 4) S_0$$

де $l_{\text{кк}}$ - величина довжини калібруючої кромки різальної вставки, мм;

S_0 - величина подачі на один оберт фрези, мм.

Величина похибки форми калібруючої кромки різальної вставки залежить від відхилення точок калібруючої кромки різальної вставки відносно прилеглої прямої. Тому величину цієї похибки визначають

допуском прямолінійності та величиною субмікронерівностей, що утворюються в результаті заточування по заднім і переднім поверхням кромки (див. рис. 3.3). Величина залежності субмікронерівностей калібруючої кромки різальної вставки від шорсткості передньої та задньої поверхонь кромки також є досліджуваною.

За допомогою кінематичного аналізу було встановлено, що висота мікронерівностей оброблюваної поверхні заготовки є функцією від двох чинників, а саме: від величини кутової похибки розташування калібруючої кромки різальної вставки та від похибки форми калібруючої кромки різальної вставки. Як правило, виявлення першого фактора досить легко піддається аналітичному обчисленню, а от вплив другого чинника здебільшого має випадковий характер, що викликаний процесом заточування та зношуванням калібруючої кромки різальної вставки. Тому на етапах теоретичного визначення впливів другого фактора нам можна висунути технічну вимогу, щоб величина похибки форми не перевищувала величини необхідної шорсткості оброблення поверхні заготовки.

Видно, що висота мікронерівностей оброблюваної поверхні при умові її формування радіусною калібруючою кромкою різальної вставки, утворюється за рахунок похибки, яка викликана непрямолінійністю калібруючої кромки різальної вставки, а також кутовою похибкою площині симетрії калібруючої кромки різальної вставки.

Величина висоти мікронерівностей за умови відсутності кутової похибки розташування кромки радіусної може бути визначена таким чином:

$$R_{\max} = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2},$$

де R_{\max} – максимальна величина висоти мікронерівностей, мм;

r – величина радіуса калібруючої кромки різальної вставки, мм;

S – величина подачі фрези, мм/об.

Аналогічним до впливу похибки форми прямокутної кромки різальної вставки є вплив похибки форми радіусної калібруючої кромки різальної вставки на висоту мікронерівностей кромки.

Дослідження кінематики утворення поверхні радіусною калібруючою кромкою різальної вставки показав наступне. Величина висоти мікронерівностей обробленої поверхні залежить від:

- від значення подачі
- величини радіуса кромки;
- від кутової похибки розташування калібруючої кромки різальної вставки;
- від похибки форми калібруючої кромки різальної вставки;
- від співвідношення довжини кромки.

Порівнюючи припустиму кутову похибку для прямолінійної та радіусної калібруючих кромки різальної вставки, бачимо, що більшу похибку має радіусна кромка, це є її головний недолік.

Геометрично радіусна кромка різальної вставки утворюється за рахунок перетину циліндричної поверхні із плоскою поверхнею, або шляхом перетину двох циліндричних поверхонь. Прямолінійна калібруюча кромка різальної вставки може бути утворена тільки при перетині двох плоских поверхонь. Тому якість оброблення плоских поверхонь заготовок шліфуванням вище, ніж якість оброблення циліндричних поверхонь. Маємо, що шорсткість прямолінійної кромки різальної вставки буде меншою, ніж шорсткість циліндричної поверхні. Саме ця обставина може стати вирішальною при конструюванні інструмента, наприклад фрез, для оброблення поверхонь із заданою шорсткістю $R_a = 0,30 - 0,63$ мкм або менше.

Величина інтенсивності розмірного зношування при умові виконання прецизійного заточування є меншим в 2-3 рази. Це є результатом того, що зношування відбувається переважно по головній різальній кромці різальної вставки, та по зачищаючій кромці, і розвивається послідовно за довжиною. Подібний тип зношення забезпечує невелику шорсткість обробленої поверхні

заготовки за весь період стійкості інструмента, тому завжди що існує ділянка на зачистній кромці, що не схильна до зношування. Часто критерієм зношування є зношування по головній задній поверхні різальної вставки $k_{31} = 0,40$ мм, а також зношування зачистної кромки різальної вставки, що дорівнює половині довжини кромки.

Як результат можна зробити наступні висновки досліджень:

– фактична похибка форми калібруючої кромки різальної вставки фрези може бути виражена відхиленням точок калібруючої кромки різальної вставки відносно прилеглої прямої. Величина цієї похибки визначається величиною непрямолінійності та величиною субмікронерівностей, що утворені в результаті заточки по заднім і переднім поверхнях різальної вставки;

– прямолінійна калібруюча кромка різальної вставки, яка утворена при перетині плоских поверхонь, здебільшого має шорсткість кромки меншої величини, ніж циліндрична-радіусна кромка різальної вставки. При конструюванні інструмента (наприклад, фрез) ця обставина може бути вирішальною для оброблення поверхонь з необхідною шорсткістю $Ra = 0,32-0,63$ мкм або менше.

ВИСНОВКИ

У виконаному проєкті за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» було здійснено аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі «Плунжер 352.15.02.03». Було проаналізовано службове призначення всього виробу (агрегат АВПл-90), а також деталі – плунжера насоса. Було проаналізовано технологічність конструкції плунжера 352.15.02.03. На базі наведеного аналізу ми обґрунтували методи отримання заготовки (обрано лиття в піщані форми за машинним формуванням), а також здійснили обирання оптимального з варіантів технологій обробки деталі плунжера 352.15.02.03. Ми обґрунтували використане згідно з технологією металорізальне устаткування, технологічну оснастку, схеми базування, тощо. Допуски та припуски при обробці діаметру $D=185^{+0.072}$ було розраховано на ЕОМ. З використанням спеціальної програми розраховано силу закріплення заготовки у верстатному пристрої. Також ми провели розрахунки режимів різання (для трьох переходів) і нормування операцій (для трьох операцій).

Було показано, що удосконалений технологічний процес є більш ефективним у зрівнянні з заводським за рахунок нової конструкції спеціального верстатного пристрою, шляхом зменшення припусків та використанню вискоефективного інструмента із надтвердим матеріалом.

Наукову новизну досліджень маємо наступну:

– було визначено, що удосконалення техпроцесу виготовлення «Плунжера 352.15.02.03» реалізується розробкою спеціального верстатного пристрою для фрезерної операції;

– було визначено, що похибка форми калібруючої кромки різальної вставки фрези може бути виражена відхиленням точок калібруючої кромки різальної вставки відносно прилеглої прямої. Величина цієї похибки визначається величиною непрямолінійності та величиною субмікронерівностей, що утворені в результаті заточки по заднім і переднім поверхнях різальної вставки;

– було визначено, що прямолінійна калібруюча кромка різальної вставки, яка утворена при перетині плоских поверхонь, здебільшого має шорсткість кромки меншої величини, ніж циліндрична-радіусна кромка різальної вставки і це є важливим при конструюванні інструмента (наприклад, фрез) для оброблення поверхонь з необхідною шорсткістю $Ra = 0,32-0,63$ мкм або менше.



ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

- 1 Методичні вказівки до виконання магістерської роботи для студентів спеціальності 8.05050202 «Технологія машинобудування» / укл.: Д.В. Криворучко, В.Г. Євтухов. – Суми: СумДУ, 2012. – 64 с.
- 2 Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Маш-е, 1985. – 498 с.
- 3 Обработка металлов резанием (справочник технолога). Под общ. редакц. А.А. Панова. – М.: Маш-е, 1989. – 734 с.
- 4 Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Л.В. Худобин. – М.: Маш-е, 1990. – 289с.
- 5 Руденко П.О. и др. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: Уч. пособ. / Под общей ред. В.М. Плескача. – Киев: Вища шк., 1992. – 249 с.
- 6 Общемашиностроительные нормативы времени работ, выполняемых на металлорежущих станках с числовым программным управлением. – М.: изд-во НИИ труда, 1982. – 219 с.
- 7 Справочник технолога-машиностроителя. 2 тома. Т2 / Под ред. Р.К. Мещерякова и А.Г.Косиловой. – М.: Маш-е, 1987. – 498 с.
- 8 Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні курсових робіт, розрахунково-графічних робіт та курсових і дипломних проектів з технології машинобудування для студентів за напрямом підготовки: 6.050502 «Інженерна механіка» спеціальності 7.090202 «Технології машинобудування» усіх форм навчання: 2 частини. – Ч. 2. Оформлення технологічної документації / укл.: В. О. Іванов, В. Г. Євтухов.– Суми: СумДУ, 2012.– 56 с.
- 9 Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Издание 4-е, переработ. и дополн. – Минск: Высш. школа, 1985. – 258с.
- 10 Методичні вказівки до виконання розділу «Аналіз службового призначення виробів» у випускній роботі бакалаврів, курсових проектах зі спеціальностей та диплом. проектах: для студ. спец.: 6.090202, 6.090204,

6.090522, 7.090202 усіх форм навчання / укл.: О.О. Топоров. – Суми : СумДУ, 2001. – 25 с.

11 Методические указания к лабораторной работе «Определение режимов резания и техн. нормирование токарной операции» по курсу "Технология машиностроения"/ сост.: О.А. Топоров, А. Б. Руденко. – Харьков: ХПИ, 1993. – 39 с.

12 Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні курсових робіт, розрахунково-графічних робіт та курсових і дипломних проектів з технології машинобудування для студентів за напрямками підготовки: 6.050502 «Інженерна механіка» спеціальності 7.090202 «Технології машинобудування» усіх форм навчання: 2 частини. – Ч. 1. / укл.: В. О. Іванов, В. Г. Євтухов.– Суми: СумДУ, 2011.– 58 с.

13 Сергеев А. Н. Техническое нормирование труда в механич. цехах. Издание 4-е, испр. и доп. – М: Маш-е, 1971. – 324 с.

14 Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка” / Укл.: П.В. Кушніров. – Суми: СумДУ, 2009. – Ч. 1. – 52с.

15 Боровик А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва. – Київ: Кондор, 2009 – 7256 с.

16 Общемашиностроительные нормативы режимов резания торцовыми фрезами, оснащенными вставками из СТМ. – М.: ВНИИГПЭ, 1986. – 54 с.

17 Метод. указания к выполнению контрольной работы по проектированию станочных приспособлений / Сост.: Г.С.Чумаков.– Сумы: изд-во СумГУ, 1997.– 34 с.

18 Егоров М.В. Технология машиностроения: Уч-к.- М.: Высшая шк., 1978. - 538 с.

19 Внуков Ю. М., Залога В. О. Зношування та стійкість ріжучих лезових інструментів: навч. посібн., Суми: СумДУ, 2011.

20 Приходько В.Н., Літвин О.А. Проектування оснащення роботів, верстатів і машин: Навчальн. посібник – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 214 с.

21 Гевко Б.М., Дичковський М.Г., Матвійчук О.В. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої. – Київ: Кондор, 2009. – 224 с.

22 Ординарцев, И.А. Справочник инструментальщика. –Л.: Маш-е, Лен. отделение, 1988. – 867 с.

23 Эффективность применения приспособлений / Под. ред. В. В. Микитянского, Л. М. Микитянской // Сборка в машиностроении. – М.: Маш-е, 2009. – №8. – С. 51–53.

24 Кучемасов, Д.М. Дослідження формоутворення поверхні заготовки при точінні [Текст] / Д.М. Кучемасов, А.В. Євтухов // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції (Суми, 19 - 23 квітня 2010 року) / Редкол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. - Суми : СумДУ, 2010. - Ч.І. - С. 51.

25 Пат. 85739 С2 Україна, МПК9 В 24 В 35/00. Пристрій для суперфінішування / Р.В. Падалка, Ю.В. Беляєв, Г.О. Черенщиков, А.В. Євтухов, О.І. Акілов, О.В. Баєв (Україна); заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т. - № а200702032; заявл. 26.02.2007; опубл. 25.02.2009, бюл. № 4.

26 Острога, Р.О. Використання програмних продуктів САПР для розрахунку напружено-деформованого стану апаратів нафтохімічної промисловості [Текст] / Р.О. Острога, А.Є. Артюхов // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції (Суми, 19 - 23 квітня 2010 року) / Редкол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. - Суми : СумДУ, 2010. - Ч.І. - С. 148.

27 Евтухов, А. В. Имитационная модель динамической системы круглого врезного шлифования [Текст] / А. В. Евтухов, М. В. Чижова // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій : конференція присвячена Дню науки в Україні. - Суми : СумДУ, 2009. - Ч.І. - С. 33.

28 Блюминштейн В.Ю. Проектирование технологической оснастки. – Учебн. пособ. – изд. 2-е, исправл. и дополн. – СПб.: Лань, 2012. – 226 с.

29 Пашкевич М. Ф., Морочек Ж. А., Кожура Л.М. Технологическая оснастка: Уч-к для студ. маш. спец. – Минск.: Адукац. і выхаванне, 2004. – 322 с.

30 Методичні вказівки до написання розділу «Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях» у дипломних проектах / укл.: А.Ф. Денисенко. – Суми: Сум. державн. ун-т, 2014. – 55 с.

31 Євтухов, В.Г. Моделювання процесу круглого врізного шліфування [Текст] / В.Г. Євтухов, А.В. Євтухов, М.В. Чижова // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. — 2009. — №1. — С. 124-133.

32 Бойко, О.О. Функціональний підхід при проектуванні верстатних пристроїв [Текст] / П.В. Кушніров, А.В. Євтухов, Д.Ю. Макаренко, О.О. Бойко // Технології ХХІ сторіччя: Збірник тез за матеріалами 27-ої міжнародної науково-практичної конференції (24-26 листопада 2021 р.). Ч.1. – Суми: СНАУ, 2021.– С. 172-173.

33 ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

34 СНиП 2.09.04-87. СНиП Административные и бытовые здания.

35 ДСанПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин.

36 ОНТП 24-86 (НАПБ Б.07.005-86). Определение категории помещений и зданий по пожарной и взрывопожарной опасности.

37 ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення.

38 СНиП II-4-79. СНиП Естественное и искусственное освещение.

39 ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

40 ГН 2152-80 (ДНАОП 0.03-3.06-80) Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень.

41 НПАОП 40.1-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок.

42 ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

43 Пат. 64630 U Україна, МПК6 В23С 5/06. Різальний інструмент / П.В. Кушніров, М.В. Лиштван, В.О. Матяш, А.В. Євтухов (Україна); заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т. - № u201105261; заявл. 26.04.2011; опубл. 10.11.2011, бюл. № 21.

44 Мазур М. П., Внуков Ю. М., Доброскок В. Л, Якубов Ф. Я., Залога В. О., Новоселов Ю. К., Основи теорії різання матеріалів: підручник.– Львів: Новий Світ. – 2010.

45 Пат. 139003 U Україна МПК В23С 5/06 (2006.01). Торцева збірна фреза / П.В. Кушніров, А.В. Євтухов, О.В. Івченко та ін. (Україна); заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т. - № u 201906790; заявл. 18.06.2019; опубл. 10.12.2019, бюл. № 23.

46 Habak, M., Badie-Levet, D., Ieburn, J. L., «Effects of the Microstructures on the Tool/Chip Tribological Contacts in Hard Turning of 120Cr8 Bearing Steel,» in Proceedings of the 11th CARPI International Workshop on Modeling of Machining Operations, 2009, pp. 367-374.

47 Sohner J. Beitrag zur Simulatione zerspanungstechnologischer Vorgangee mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode: Dokteors der Ingenieurwissenschafteneten. –Karlsruhe: Universitat Karlsruhe, 2008. – 165 p.