

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**«Удосконалення технологічного процесу виготовлення секції  
Н05.27.144.02 відцентрового насоса ЦН150–110 шляхом побудови  
раціональної структури оздоблювальної операції»**

Кваліфікаційна робота (проєкт) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

М. М. Безпалій

Керівник

А. В. Євтухов

Консультант з охорони праці  
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
Розділ 1.....	
Аналіз технологічного процесу виготовлення секції.....	10
1.1 Аналіз службового призначення виробу, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов її експлуатації.....	10
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі.....	13
1.3 Визначення типу виробництва та форми його організації.....	15
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	18
1.4.1 Оцінювання технологічності конструкції деталі за якісними показниками.....	18
1.4.2 Оцінювання технологічності конструкції деталі за кількісними показниками.....	20
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення секції.....	21
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення секції.....	25
Розділ 2.....	
Удосконалення технологічного процесу виготовлення секції.....	27
2.1 Складання раціонального маршруту технологічного процесу виготовлення деталі.....	27
2.2 Вибір способу виготовлення вихідної заготовки і розроблення технічних вимог до неї.....	28
2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку.....	32
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки на операції 015 «Токарна з ЧПК» та 035 «Фрезерна з ЧПК».....	33
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів.....	38
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	39
2.7 Розрахунок режимів різання.....	40
2.8 Технічне нормування операцій.....	46
2.9 Проектування верстатного пристрою.....	48
2.9.1 Обґрунтування мети технологічної операції і завдання для проектування.....	48
2.9.2 Обґрунтування схеми базування і закріплення заготовки.....	49

2.9.3	Розрахунок точності елементів пристрою.....	52
2.9.4	Опис конструкції і роботи пристрою.....	53
2.10	Висновок.....	54
	Розділ 3	
	Дослідження оздоблювальної обробки абразивними брусками площинних поверхонь секції.....	55
3.1	Розроблення структури оздоблювальної операції для обробки площинної поверхні секції.....	
3.2	Обробка площинної поверхні способом подвійної осциляції брусків...	56
3.3	Вибір моделі верстата для оздоблювальної обробки площини деталі...	59
3.4	Пристрій для обробки площинної поверхні секції.....	60
3.5	Вибір режимів різання.....	64
3.6	Висновок.....	67
	Висновки.....	68
	Список джерел посилань.....	70
	Додаток А Креслення деталі «Секція Н05.27.144.02».....	74
	Додаток Б Креслення заготовки Н05.27.144.02 «Секція. Поковка».....	75
	Додаток В Розрахунок припусків на ЕОМ.....	76
	Додаток Г Специфікація ТМЗ19320012–07–01.00.00 «Пристрій для фрезерування».....	77
	Додаток Д Креслення ТМЗ19320012–07–01.00.00 СК «Пристрій для фрезерування».....	79
	Додаток Е Специфікація ТМЗ19320012–07–02.00.00 «Пристрій для суперфінішування».....	80
	Додаток Ж Креслення ТМЗ19320012–07–02.00.00 СК «Пристрій для суперфінішування».....	82
	Додаток К Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	83

## РЕФЕРАТ

Записка: 73 с., 19 рис., 19 табл., 7 додатків, 46 використаних джерел.

Об'єкт розробки – секція відцентрового насоса ЦН150–110 для переливання води.

Мета роботи – удосконалення технологічного процесу виготовлення секції Н05.27.144.02.

Виконаний аналіз службового призначення насоса і секції, її технічних вимог. Визначений тип виробництва, проаналізована технологічність конструкції деталі. Виконаний аналіз існуючого на виробництві технологічного процесу виготовлення секції.

Запропонований новий варіант технологічного процесу виготовлення секції із удосконаленням окремих його операцій. Вибраний спосіб виготовлення заготовки, розраховані припуски і допуски на обробку отвору діаметром 190Н7. Вибрані схеми базування і закріплення заготовки на токарній і фрезерній операціях, запропоновані моделі верстатів, пристроїв, різальний і вимірювальний інструменти, розраховані режими різання і норми часу. Розроблений верстатний пристрій для фрезерування дванадцяти пазів секції.

Для забезпечення шорсткості плоскої поверхні за критерієм  $R_a = 0,63$  мкм і площинності в межах 0,02 мм, запропонована нова структура оздоблювальної операції «Токарно-карусельна». Вибраний спосіб подвійної осциляції брусків, який містить ударно-циклічну та циклічну схеми різання. Розроблений пристрій для обробки плоскої поверхні абразивними брусками, запропоновані оптимальні режими різання для її обробки.

Вирішені питання охорони праці і безпеки у надзвичайних ситуаціях.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЗАГОТОВКА, СХЕМА БАЗУВАННЯ, ПРИСТРІЙ,  
РЕЖИМ РІЗАННЯ, НОРМА ЧАСУ, ОЗДОБЛЮВАЛЬНА ОПЕРАЦІЯ

## РЕФЕРАТ

Записка: 73 с., 19 рис., 19 табл., 7 приложений, 46 использованных источника.

Объект разработки – секция центробежного насоса ЦН150–110 для переливания воды.

Цель работы – усовершенствование технологического процесса изготовления секции Н05.27.144.02.

Выполнен анализ служебного назначения насоса и секции, её технических требований. Определён тип производства, проанализирована технологичность конструкции детали. Выполнен анализ существующего технологического процесса изготовления секции.

Предложен новый вариант технологического процесса изготовления секции с усовершенствованием отдельных её операций. Выбран способ изготовления заготовки, рассчитаны припуски и допуски на обработку отверстия диаметром 190Н7. Выбраны схемы базирования и закрепления заготовки на токарной и фрезерной операциях, предложены модели станков, приспособлений, режущий и мерительный инструмент, рассчитаны режимы резания и нормы времени.

Для обеспечения шероховатости плоской поверхности по критерию  $R_a = 0,63$  мкм и плоскостности в пределах 0,02 мм, предложена новая структура отделочной операции «Токарно-карусельная». Выбранный способ двойной осцилляции брусков, который содержит ударно-циклическую и циклическую схемы резания. Даны рекомендации по выбору режимов резания предложенным способом.

Решены вопросы охраны труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ЗАГОТОВКА, СХЕМА БАЗИРОВАНИЯ, ПРИСПОСОБЛЕНИЕ, РЕЖИМ РЕЗАНИЯ, НОРМА ВРЕМЕНИ, ОТДЕЛОЧНАЯ ОПЕРАЦИЯ

## ABSTRACT

Note: 73 pages, 19 figures, 19 tables, 7 applications, 46 sources.

The object of development is a section of the centrifugal pump ЦН150–110 for water transfer.

The purpose of the work is to improve the technological process of the section H05.27.144.02 manufacturing.

The analysis of the service purpose of the pump and section, its technical requirements has been carried out. The type of production was determined, the manufacturability of the design of the part was analyzed. The analysis of the existing technological process of manufacturing the section is carried out.

A new version of the technological process of manufacturing a section with the improvement of its individual operations is proposed. A method for manufacturing a workpiece was selected, allowances and tolerances for machining a hole with a diameter of 190N7 were calculated. The schemes of basing and fixing the workpiece on turning and milling operations are selected, models of machines, devices, cutting and measuring tools are proposed, cutting modes and time norms are calculated.

To ensure the roughness of the flat surface according to the criterion  $Ra = 0.63 \mu\text{m}$  and flatness within 0.02 mm, a new structure of the finishing operation "Turning-carousel" is proposed. The selected method of double oscillation of bars, which contains impact-cyclic and cyclic cutting patterns. Recommendations on the choice of cutting conditions by the proposed method are given.

The issues of labor protection and safety in emergency situations were resolved.

TECHNOLOGICAL PROCESS, WORKPIECE, LOCATION SCHEME, DEVICE,  
CUTTING MODE, TIME RATE, FINISHING OPERATION

## ВСТУП

**Актуальність проблеми.** Виробництво відцентрових насосів займає одне із провідних напрямків в народному господарстві України. Вироби насособудування широко застосовуються на енергетичних станціях країни, ними комплектують відповідальні машини і агрегати, які поставляються за межі країни. Насоси потребують якісної розробки конструкцій при їх проектуванні і технологічних процесах їх виготовлення. Наприклад, відцентровий насос моделі ЦН150–110, який застосовується для переливання води в контурах атомних електростанцій, вимагає підвищених вимог до його експлуатації та техніки безпеки. В свою чергу, щоб забезпечити потрібні вимоги, треба ретельно опрацювати і застосувати сучасні технології при їх виготовленні.

Проблема будування насосів для атомних електростанцій пов'язана із їх підвищеною надійністю, довго-тривалістю, безвідмовністю разом із низькою собівартістю виготовлення цих виробів. При проектуванні оптимальних технологічних процесів виготовлення деталей, які складають конструкцію сучасного насоса, зазначені проблеми є актуальними і підлягають вирішуванню.

Однією із головних деталей відцентрового насоса моделі ЦН150–110 є секція. Технологічний процес виготовлення секції потребує призначення раціональних методів обробки її поверхонь, розроблення оптимальних структур технологічних операцій, режимів різання, проектування верстатних пристроїв, контрольно-вимірювальних приладів. Особливу увагу треба зосередити на розробленні структур окремих операцій виготовлення секції, зокрема на оздоблювальній операції.

Оздоблювальна операція передбачає обробку площини торця секції, щоб забезпечити її шорсткість  $R_a = 0,63$  мкм та форму площинності в межах 0,02 мм. Застосування тонкого точіння або шліфування не завжди дозволяє забезпечити потрібні вимоги до цієї поверхні. Тонке точіння різцем із твердого сплаву марки ТЗ0К4 не спроможне забезпечити задану шорсткість поверхні, що позначається на щільності стиків при складанні секцій у виріб. Тонке шліфування зоставляє на

оброблювальної поверхні аморфний шар, що визвано температурним фактором процесу и також не забезпечує потрібну шорсткість поверхні.

Таким чином, усунення наведених недоліків потребує застосування інших методів обробки площинної поверхні. Пропонується обробляти плоску поверхню абразивним бруском способом подвійної осциляції брусків. Спроможність наведеного способу обробляти площинну поверхню за ударно-циклічною та циклічною схемам різання дозволить виправити зазначений недолік і забезпечити потрібні параметри оброблювальної поверхні секції.

**Об'єкт дослідження.** Секція Н05.27.144.02, яка застосовується у відцентровому насосі моделі ЦН150–110.

**Предмет дослідження.** Існуючий технологічний процес виготовлення секції насоса Н05.27.144.02.

**Мета дослідження.** Розроблення раціональної структури оздоблювальної операції «Токарно-карусельна» для обробки площинної поверхні секції.

**Завдання дослідження.** Дослідити структуру оздоблювальної операції, на якій оброблюється площинна поверхня. Запропонувати спосіб обробки плоскої поверхні абразивними брусками за ударно-циклічною та циклічною схемами різання з метою забезпечення шорсткості в межах  $R_a = 0,4 - 0,63$  мкм та допуску площинності форми в межах 0,02 мм.

Запропонувати верстатний пристрій для обробки площини абразивним інструментом та надати рекомендації по режимам різання за двома запропонованими схемами.

**Методи дослідження.** Теоретичні та експериментальні задачі вирішувалися шляхом розрахунків за формулами наведеними в спеціальних наукових і патентних джерелах, та методики, за якою виконувалося проектування верстатного пристрою, розроблення рекомендацій для застосування раціональних режимів різання.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Розроблена нова структура оздоблювальної операції для обробки площини секції. Запропонований спосіб подвійної осциляції брусків для оброблення плоскості за ударно-циклічною та циклічною схемам різання, спроектований верстатний пристрій для її обробки. За



методикою планування експерименту визначені оптимальні режими різання абразивним бруском.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропонована модель верстата для обробки площинної поверхні, розроблена конструкція верстатного пристрою для обробки площини абразивним бруском, розраховані оптимальні режими різання.

**Особистий внесок магістра.** Результати виконаних досліджень отримані студентом самостійно.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Немає.

**Публікації.** Немає.

**Структура і об'єм роботи.** Магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновку, переліку використаних посилань із 46 найменувань, 73 сторінок машинописного тексту, 19 рисунків, 19 таблиць, 7 додатків. Загальний обсяг роботи складається із 94 сторінок.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СЕКЦІЇ

#### **1.1 Аналіз службового призначення виробу, деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації**

Відцентровий насос ЦН150–110 застосовується для перекачування води, яка має водневий показник рН–9,2 із масовою часткою механічних домішок не більше 0,1%, розміром твердих часток не більше 0,1 мм, мікротвердістю не більше 1,47 ГПа, температурою не більше 378 °К (105 °С).

Насос ЦН150–110 у складі агрегата відноситься до виробів контурного призначення (ВКП), виду 1 (поновлювальні) згідно з ГОСТ 27.003–80. Продуктивність насоса – 60, м<sup>3</sup>/г, робочий тиск – 3,2 МПа.

Корпус насоса – це конструкція, яка складається із секцій, які з'єднані між собою в установленій послідовності. Центрування секцій відбувається за спеціальними циліндричними заточками. Для зменшення похибки центрування секцій при складанні, їх з'єднання виконується по пресовій посадці. При ущільнюванні стиків секції за металевим контактом, ущільнювальні пояски повинні бути перпендикулярні до осі насоса, мати низьку шорсткість поверхонь і високий (7–9) квалітет точності розмірів. Шорсткість з'єднаних поверхонь становить  $R_a = 0,63$  мкм і досягається спеціальними притирами, ручним способом або при складанні на притиральних верстатах. За час експлуатації деталі виконавчою поверхнею є поверхня отвору діаметром 110Н7 (див. креслення Н05.27144.02 «Секція»). Цією поверхнею секція базується в насосі пресовою посадкою, центрується в корпусі насоса, що забезпечує потрібні експлуатаційні показники виробу. Дванадцятьма отворами діаметром 22 мм секція з'єднується із аналогічними секціями в набір, де відбувається їх центрування.

Поверхня  $\varnothing 540g6$  секції виконує функцію центрування відносно корпусу насоса. Посадка по поверхні  $\varnothing 540g6$  відбувається із зазором. Застосування резинових ущільнювань виключає виток рідини із порожнин виробу. Це з'єднання рухоме, рознімне, із циліндричною формою поверхні за місцем контакту.

В кресленні секції застосована марка матеріалу – сталь 20Х13 ГОСТ 5632–72. Це хромована, стійка до корозії сталь, хімічний склад якої наведений в таблиці 1.1, а механічні властивості – в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 20Х13 ГОСТ 5632–72 (в процентах)

Марка сталі	С	Si	Mn	Cr	S	P
		Не більше			Не більше	
20Х13	0,16-0,25	0,8	0,8	12,0-14,0	0,025	0,03

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 20Х13

Марка сталі	Режим термічної обробки, температура (°С), середа охолодження	$\sigma_b$	$\sigma_t$	$\delta$	$\psi$	$a_n$ , кгс·м/см <sup>2</sup>
		МПа		%		
20Х13	Закалка: 1000 <sup>0</sup> -1050 <sup>0</sup> , повітря або мастило, відпалювання: 600°–770°, повітря, мастило або вода	648	440	16	55	8

Аналіз поверхонь деталі (див. рис. 1.1) дозволив виділити виконавчі (ВП), основні конструкторські (ОКБ) і допоміжні конструкторські поверхні (ДКБ), вільні поверхні (ВЛП). ВП – 3, 13, 12. ОКБ – 13, 3, 23 (одно із дванадцяти отворів). ДКБ – 16, 8, 6, 19, 20, 28, 17, 21, 24, 27, 26, 1, 22, 5. ВЛП – 2, 11, 10, 9, 7, 12.

ОКБ (3, 13, 23) можна класифікувати за призначенням, ступеням позбавлення вільності, характеру прояву (див. табл. 1.3 і 1.4).

Таблиця 1.3 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Степінь вільності	Найменування бази, характер прояву
1, 2, 3	I, V, VI	УБ, явна
4, 5	II, III	ПОБ, явна
6	IV	ОБ, явна

Таблиця 1.4 – Матриця зв'язків

1, $\alpha$ / X, Y, Z	X	Y	Z	База
1	0	0	1	УБ
$\alpha$	1	1	0	
1	1	1	0	ПОБ
$\alpha$	0	0	0	
1	0	0	0	ОБ
$\alpha$	0	0	1	
Всього	2	2	2	6 зв'язків

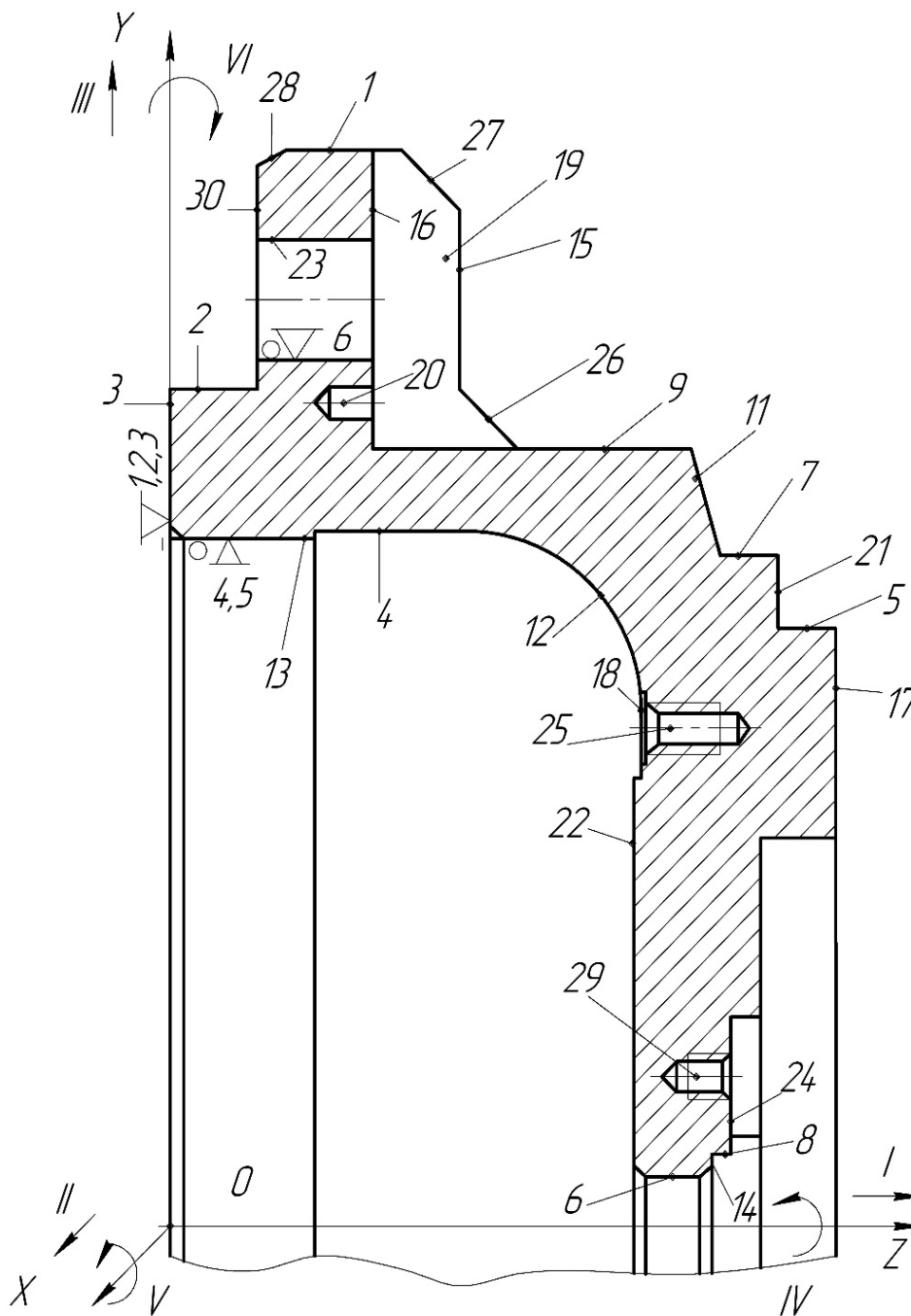


Рисунок 1.1 –Ескіз секції із нумерацією поверхонь

Аналіз перерахованих поверхонь дає підставу призначити до них вимоги щодо точності і шорсткості, а на етапі механічної обробки потрібні режими їх обробки.

Сталь містить приблизно 13% хрому, що забезпечує її підвищену корозійну стійкість. Сталі з підвищеним процентом хрому застосовують в термічно обробленому стані, часто із шліфованими, а іноді із полірованими поверхнями. Область застосування сталі – зварювальні конструкції підвищеної точності, які працюють в діапазоні температур 70–450 °С.

## 1.2 Аналіз технічних вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі виконується за методикою [1, 2, 3]. Оформлення креслення секції відповідає діючим стандартам, дає чітке уявлення о конструкції деталі, містить достатню кількість проєкцій, видів, перерізів.

По умовами роботи деталі (агресивне середовище) матеріал конструктором вибраний правильно – сталь 20Х13 ГОСТ 5632–72.

Технічні вимоги на виготовлення деталі за наведеними параметрами точності наступні.

Граничне відхилення розміру  $\varnothing 450_{g6}(-0,022;-0,066)$  вибране правильно. Поверхня оброблена за 6-м квалітетом точності із шорсткістю поверхні  $R_a = 1,6$  мкм. Наведені вимоги виходять із умови експлуатації цієї поверхні деталі у виробі. Секція поверхнею  $\varnothing 540_{g6}$  центрується в корпусі насоса із зазором. Це з'єднання рухоме, рознімне.

Розмір  $\varnothing 460$  є вільним. В експлуатації ця поверхня участі не приймає. Шорсткість поверхні становить  $R_a = 3,2$  мкм.

Розмір  $\varnothing 410_{H7}(+0,063;0)$  заданий конструктором по 7-му квалітету точності, шорсткість поверхні  $R_a = 1,6$  мкм. Надані вимоги обумовлені функціональним призначенням насоса, тому що ця поверхня є ОКБ. Торець  $\varnothing 460/\varnothing 410_{H7}$  із шорсткістю  $R_a = 0,8$  мкм також виконує функцію ОКБ. Разом ці поверхні із їх вимогами визначають експлуатаційні характеристики деталі і виробі. Поверхня  $\varnothing 190_{H7}(+0,046;0)$  із шорсткістю  $R_a = 1,6$  мкм повинна забезпечити точне центрування вала в складальному вузлу насоса. Ця поверхня є відповідальною за роботою всього виробу і параметри її точності задані конструктором правильно.

Поверхня  $\varnothing 385_{h8}(0;-0,089)$  є ДКБ. Задана точність розміру потрібна для точного з'єднання цієї поверхні із приєднувальною деталлю – кільцем. Вимоги креслення, які зазначені конструктором до цієї поверхні є вірні, але шорсткість поверхні треба зменшити до  $R_a = 1,6$  мкм, щоб посадка з зазором відповідала експлуатаційним вимогам.

Торці секції з'єднані розміром  $116h10(0;-0,14)$  мм. Шорсткість торців становить відповідно  $R_a = 0,63$  мкм и  $R_a = 1,6$  мкм, що не пов'язується із точністю розміру  $116h10$  мм. Але така шорсткість поверхонь потрібна для щільного притиснення секції із аналогічними секціями при їх складанні у виріб. Точність інших розмірів креслення ( $80H9, \text{Ø}385h8$ ) задана конструктором із умови потрібних експлуатаційних характеристик виробу і не суперечить рекомендаціям і вимогам нормативних документів [2, 3].

На кресленні задані допуски форми поверхонь, які треба забезпечити для нормальної експлуатації виробу. Наприклад, форма поверхні торців з'єднаних розміром  $116h10(0;-0,14)$  мм, задана на кресленні відхиленням від площини с допуском  $T = 0,02$  мм, якій не відповідає нормативним даним ( $0,025$  мм). Інші поверхні мають допуски форми, які знаходяться в межах допуску на відповідний розмір і для точних поверхонь він становить  $0,6T$ , а для циліндричних поверхонь  $0,4T$ .

Надані на кресленні співвідношення між точністю розміру і точністю форми поверхні є правильними і відповідають умовам експлуатації деталі у виробі.

За умовами креслення співвідношення між вимогами до точності розмірів і шорсткістю витримується і відповідають вимогам ГОСТ 2.309–73.

Аналізом технічних вимог креслення встановлено, що поверхні  $\text{Ø}540g6, \text{Ø}410H7, \text{Ø}195H9, \text{Ø}190H7, \text{Ø}385h8$ , торцеві поверхні  $\text{Ø}540g6/\text{Ø}410H7$  і  $\text{Ø}330/\text{Ø}190H7$  є основними поверхнями, які безпосередньо забезпечують потрібну точність складальних одиниць при складанні і експлуатації деталі у виробі. При проектуванні технологічного процесу наведені потребують оздоблювальних (фінішних) методів обробки. Згідно креслення також треба забезпечити вимоги радіального і торцевого биття цих поверхонь однієї відносно другої. Для виконання цих вимог треба в технологічному процесі виготовлення деталі на токарних, фрезерних, свердлильних операціях забезпечити постійність і єдність конструкторських, технологічних і вимірювальних баз. По можливості базові поверхні секції треба обробити із однієї установки (базування і закріплення), на одному технологічному переході операції.

Таким чином, виявлені при аналізі технічних вимог креслення зауваження, окремі недоліки, невідповідності будуть враховані при удосконаленні технологічного процесу виготовлення секції.

### 1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації

Тип виробництва визначається коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{зо}$  [2]. Вихідні дані: об'єм виготовлених деталей за рік  $N = 600$  штук; існуючий технологічний процес виготовлення секції Н05.27.144.02; норми штучно-калькуляційного  $T_{ш-к}$  часу за всіма операціями. Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій наведений в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

Номер операції	Найменування операції	$T_{ш-к}$ , хв	$m_p$	P	$\eta_{з.ср.}$	O
015	Токарна з ЧПК	36,12	0,1121	1	0,1121	7,136
020	Токарна з ЧПК	36,5	0,1132	1	0,1132	7,067
025	Токарна з ЧПК	37,5	0,1163	1	0,1163	6,879
030	Токарна з ЧПК	28,33	0,088	1	0,088	9,091
035	Фрезерна з ЧПК	29,1	0,090	1	0,090	8,889
040	Свердлильна з ЧПК	26,1	0,081	1	0,081	9,877
045	Свердлильна з ЧПК	5,3	0,016	1	0,016	50
050	Токарно-карусельна	12,7	0,039	1	0,039	20,513
	Всього	211,7		8		119,5

#### *Визначення типу виробництва.*

Визначимо кількість верстатів по операціям:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.ср.}}$$

де  $F_d = 4029$  г – дійсний річний фонд часу роботи обладнання;

$N = 600$  шт – об'єм випуску деталей за рік;

$\eta_{з.н.ср.} = 0,8$  – середнє значення нормативного коефіцієнта завантаження обладнання, тому що на даному етапі тип виробництва невідомий.

Приймаємо цілу кількість робочих місць P, округляючи до ближнього більшого цілого числа  $m_p$ .

Фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця

$$\eta_{\text{ф.з.ср}} = \frac{m_p}{P}$$

Кількість операцій, які виконуються на робочому місці

$$O = \eta_{\text{з.н.ср}} / \eta_{\text{ф.з.ср}}$$

Результати розрахунків та визначені суми  $T_{\text{ш-к}}$ ;  $P$ ;  $O$  наведені в таблиці 3.1.

Коефіцієнт закріплення операцій визначається за формулою:

$$K_{30} = \Sigma O / \Sigma P = 119,5 / 8 = 14,93.$$

Згідно з ГОСТ 14.004–83, якщо  $10 < K_{30} \leq 20$ , то це відповідає середнє-серійному виробництву.

Визначимо добовий випуск деталей [2]:

$$N_c = N / 254 = 600 / 254 = 3 \text{ шт,}$$

де 254 – кількість робочих днів у році.

Добова продуктивність  $Q$  потокової лінії при її завантаженні на 60% буде

$$Q = 0,6 \cdot F_c / T_{\text{ср}} = 952 \cdot 0,6 / 26,5 = 22 \text{ шт,}$$

де  $F_c = 60 \cdot F_d / 254 = 952 \text{ хв}$  – добовий фонд часу роботи обладнання при двозмінному режимі роботи;

$T_{\text{ср}} = \Sigma T_{\text{ш-к}} / n_p = 211,7 / 8 = 26,5 \text{ хв}$  – середня трудомісткість основних механічних операцій;

$n_p = 8$  – кількість основних механічних операцій технологічного процесу.

Якщо добовий випуск виробів менше добової продуктивності потокової лінії при її завантаженні на 60%, то застосування одно номенклатурної потокової лінії недоцільно. Тому приймається групова форма організації виробництва. Запуск виробів виконується партіями із заданою періодичністю, що є ознакою серійного виробництва.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску допускається визначати спрощеним способом за формулою:

$$N_{\text{п}} = N \cdot a / 254 = 600 \cdot 24 / 254 = 57 \text{ шт,}$$

де  $a = 24$  днів – періодичність запуску деталей для їх виготовлення.

Корегуємо розмір партії за рахунок визначення кількості змін  $C$  на обробку всієї партії по формулою:



$$C = \frac{T_{\text{ср}} \cdot N_{\text{п}}}{F_{\text{см}} \cdot \eta_{\text{з.н.ср}}} = \frac{26,5 \cdot 57}{476 \cdot 0,8} = 3,96,$$

де  $F_{\text{см}} = F_{\text{с}}/v = 952/2 = 476$  хв – змінюваний фонд часу роботи обладнання;

$v=2$  – кількість змін;

$\eta_{\text{з.н.ср}} = 0,8$  – нормативний коефіцієнт завантаження верстатів в серійному виробництві.

Кількість змін округляємо до ближнього цілого значення  $C_{\text{п}} = 4$ . Тоді кількість деталей в партії визначиться за формулою:

$$N_{\text{п}} = \frac{F_{\text{см}} \cdot C_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{з.н.ср}}}{T_{\text{ср}}} = \frac{476 \cdot 4 \cdot 0,8}{26,5} = 58 \text{ шт.}$$

#### *Характеристика групової форми організації виробництва.*

Згідно з ГОСТ 14.004–83 секція відцентрового насоса може раціонально виготовлятися на універсальному, спеціалізованому і частково спеціальному обладнанні [2]. Можуть використовуватися верстати з ЧПК, оброблювальні центри. Обладнання розташовано за технологічними групами із урахуванням напрямів основних вантажних потоків цеха по предметно-замкнутим дільницям.

Технологічна оснастка в основному універсальна. Широко розповсюджені універсально-збірні, пере-налагоджувальні оснастки. Для заготовок використовують поковки, точні штамповки, які виготовляються на молотах, пресах. Доцільність їх використання обґрунтовується техніко-економічними розрахунками.

Потрібна точність розмірів, форм поверхонь деталей досягається як методом автоматичного отримання розмірів, так і методом пробних ходів і вимірювань. Частково виконується розміщення потрібних розмірів деталі. Разом із робочими високої кваліфікації, які працюють на складних універсальних верстатах та наладчиками, використовуються робочі-оператори, які працюють на налагоджених верстатах.

Технологічна документація і технічне нормування ретельно розробляється для складних і відповідальних заготовок. Одночасно застосовується спрощена документація і опитне-статистичне нормування простих заготовок.

## 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

### 1.4.1 Оцінювання технологічності конструкції деталі за якісними показниками.

Аналіз виконується зв кресленням Н05.27.144.02. Заготовкою деталі є поковка на штампувальному пароповітряному молоті (див. рис. 5.1). Форма і розміри деталі та заготовки суттєво різняться між собою. Маса заготовки  $m_з = 188,2$  кг, а маса деталі  $m_д = 60$  кг. Тому коефіцієнт використання металу дуже малий і становить  $K_{им} = m_д/m_з = 60/188,2 = 0,32$ . Значна кількість металу при обробленні видаляється в стружку, що характеризує конструкцію деталі з великою трудомісткістю і металоємкістю. За цим показником конструкція заготовки є нетехнологічною.

Матеріал деталі – сталь 20Х13 ГОСТ 5632–72. Хімічний склад і фізико-механічні властивості сталі впливають на процес різання і характеризується коефіцієнтом обробки  $K_{об}$ . При HB241 і  $\sigma_b = 730$  МПа; За даними джерела [3] коефіцієнт обробки сталі 20Х13 інструментом із твердого сплаву  $K_{об\ тв.спл.} = 0,7$ . Коефіцієнт обробки сталі інструментом із швидкорізальної сталі становить  $K_{об\ ш.ст} = 0,45$ . Наведені коефіцієнти визначені по відношенню до коефіцієнта при обробки сталі 45 ГОСТ 1050–88, який складає  $K_{об} = 1$ . Цей показник характеризує матеріал сталі 20Х13 як матеріал, що має велику трудомісткість механічної обробки. За цим показником конструкцію деталі можна вважати нетехнологічною.

Аналіз креслення деталі показав, що кількість видів, проєкцій, перерізів, містить всі потрібні дані, які дають повне уявлення о конструкції деталі.

Конструктор правильно призначив розміри, точність і шорсткість, граничні відхилення геометричної форми і взаємне відхилення розташувань поверхонь, які базуються на інформації о кількісних показниках службового призначення деталі і виробу.

Конструкція деталі дозволяє застосовувати високопродуктивні методи обробки: точіння різцями, фрезерування, свердління, нарізання різі. Але властивості матеріалу деталі виключають застосування методу шліфування при обробки поверхонь із шорсткістю  $R_a = 0,63$  мкм, що пов'язано із температурним фактором. Поверхневий шар легованої сталі під дією високих температур (700–800) °С вигоряє і з'являється аморфний шар. Для забезпечення шорсткості поверхонь  $R_a = 1,6–0,8$  мкм треба

застосовувати метод обробки, який виключає температурний фактор. Пропонується обробляти такі поверхні абразивним бруском (суперфінішуванням), де температура не перевищує 60 °С.

Аналіз виявив ряд поверхонь деталі, до яких немає вільного доступу оброблювального інструменту. По-перше, це глухі, різьбові, ступінчасті поверхні розміром М8–7Н (вид А). Конструкція наведених отворів є нетехнологічною, тому що виключає роботу мірних інструментів (свердл, мітчиків) на прохід.

По-друге, дванадцять пазів розміром 50x50x15 мм розташовані дуже близько до поверхні Ø440 висотою 50 мм, що робить відсутність вільного розташування фрези при обробці (див. рис. 1.2). Крім того, свердління глухого отвору Ø7 на відстані 7 мм передбачає застосування свердла підвищеної довжини (не стандартний інструмент) та зменшує жорсткість технологічної системи при обробці.

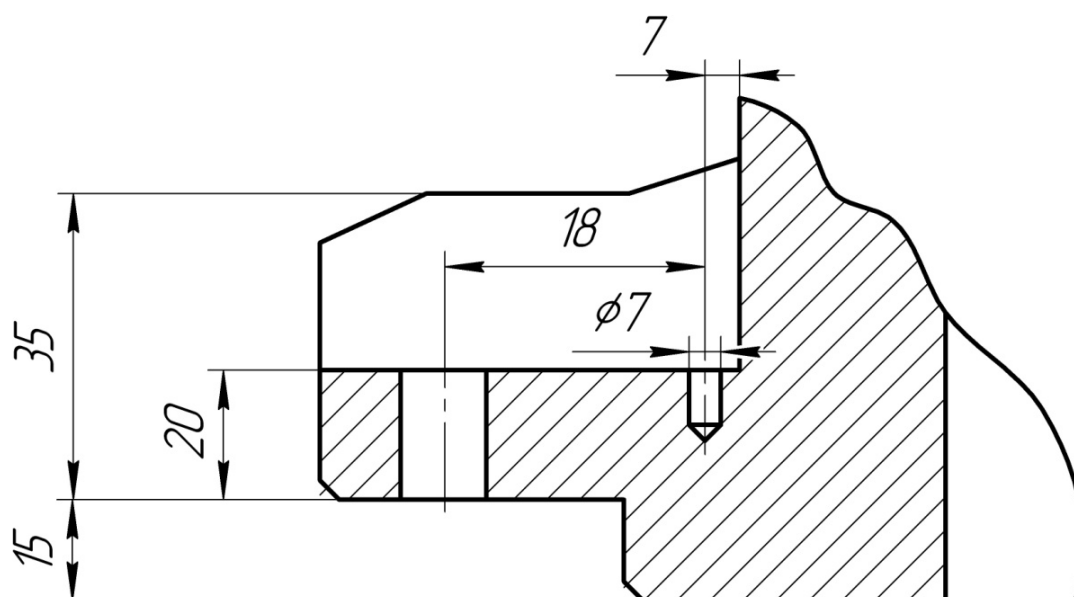


Рисунок 1.2 – Нетехнологічний елемент конструкції деталі

Аналіз креслення секції показав, що внутрішня поверхня Ø190Н7 має довжину 10 мм і є однією із базових поверхонь деталі, тому її застосування як подвійної напрямної бази виключено (відношення  $L/D = 10/190 = 0,053$ ).

Таким чином, на окремих операціях технологічного процесу цю поверхню треба замінити іншою, щоб забезпечити точність розмірів і взаємного розташування поверхонь за технічними вимогами креслення.

Складність виникає при обробленні різанням радіуса R30 із шорсткістю поверхні  $R_a = 3,2$  мкм. Для реалізації цих вимог можна застосувати фасонний різальний інструмент, або передбачити точний дискретний рух інструмента по заданій програмі (на верстатах з ЧПК).

Інші елементи конструкції деталі можна вважати технологічними, тому що допускають застосування високопродуктивних методів обробки, мають розвинути базові поверхні ( $\varnothing 540g6/\varnothing 460$ ;  $\varnothing 460/\varnothing 410H7$ ;  $\varnothing 410H7$ ;  $\varnothing 540g6$ ). Їх без особливих труднощів можна застосувати при обробки на початкових операціях. Наведені поверхні є площинними і циліндричними та простими за конструкцією.

#### 1.4.2 Оцінювання технологічності конструкції деталі за кількісними показниками.

Кількісними показниками технологічності деталі відповідно до ГОСТ 14.202–73 є: маси деталі и заготовки, коефіцієнт використання конструктивних елементів, точності обробки, шорсткість поверхонь, рівень технологічності конструкції за використанням матеріалу і технологічної собівартості.

1. Коефіцієнт уніфікації  $K_y$  конструктивних елементів. Деталь містить 93 елемента, із них циліндричних поверхонь 10, конічних 4, торцевих 8, фасонних 1, фасок 22, пазів 13, отворів 24, отворів із різью 10. Із цих поверхонь 77 уніфікованих, а 16 елементів – оригінальних (фаски  $3 \times 15^\circ$ ,  $10 \times 45^\circ$ , кути  $30^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ).

Коефіцієнт  $K_y = 77/93 = 0,83$  достатньо високий і за цим показником конструкцію деталі можна вважати технологічною.

2. Коефіцієнт точності  $K_T$  (ГОСТ 18831–73) на діаметральні і основні лінійні розміри (див. табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Коефіцієнт точності  $K_T$

Квалітет точності $T_i$	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кількість квалітетів, $n_i$	1	2	1	2	-	-	-	-	14
$T_i \cdot n_i$	6	14	8	18	-	-	-	-	196

$$\sum n_i = 20; \quad \sum T_i n_i = 242;$$

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i} = \frac{242}{20} = 12,1;$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{12,1} \cong 0,92.$$

За коефіцієнтом  $K_T$  конструкція деталі – технологічна.

3. Коефіцієнт шорсткості  $K_{ш}$  (ГОСТ 18831–73) діаметральних і торцевих поверхонь (див. табл. 1.7).

Таблиця 1.7 – Коефіцієнт шорсткості  $K_{ш}$

Шорсткість поверхні $\text{Ш}_i$	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25
Кількість поверхонь $n_i$	1	6	13	5	36	-
$\text{Ш}_i n_i$	0,8	9,6	41,6	31,5	450	-

$$\sum \text{Ш}_i n_i = 533,5; \quad \sum n_i = 61;$$

$$\text{Ш}_{cp} = \frac{\sum \text{Ш}_i n_i}{\sum n_i} = \frac{533,5}{61} \cong 8,8;$$

$$K_{ш} = \frac{1}{\text{Ш}_{cp}} = \frac{1}{8,8} \cong 0,114.$$

За коефіцієнтом  $K_{ш}$  конструкція деталі – технологічна.

Таким чином, аналіз якісних і кількісних показників дозволив визначити деталь як технологічну на стадіях отримання заготовки та механічної обробки.

## 5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення секції

Виконаємо аналіз існуючого на підприємстві технологічного процесу виготовлення секції за умови дрібносерійного типу виробництва.

Операція 005 «Заготівельна». Спосіб виготовлення заготовки – вільне кування на пароповітряному молоті (див. рис. 1.3).

Заготовка має великі припуски и напуски на механічну обробку. Для середньосерійного виробництва пропонується змінити спосіб виготовлення вихідної заготовки. Наприклад, запропонувати спосіб виготовлення заготовки – ковка на гідравлічному пресі. Це наблизить за конфігурацією заготовку до готової деталі і зменшить трудомісткість механічних операцій.

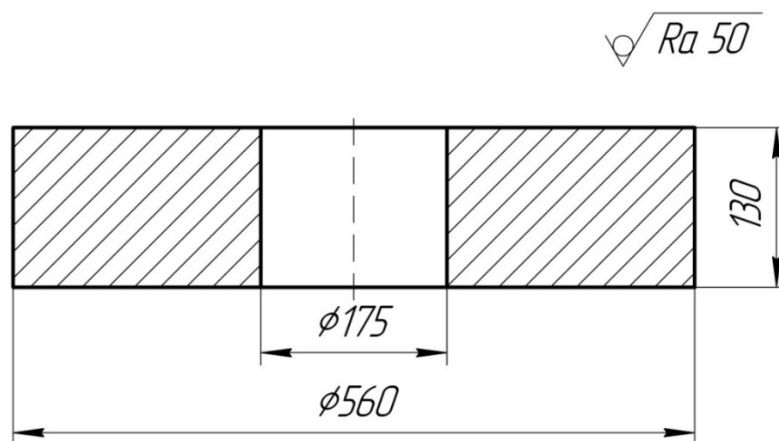


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки, яка отримана куванням на пароповітряному молоті

Операція 010 «Токарно-карусельна». Обробка виконується на верстаті моделі 1512. На операції оброблюються поверхні (бази) заготовки під наступні операції механічної обробки. Структура операції – два установка, вісімнадцять технологічних переходів. Верстат має два супорти, що дозволяє сумістити деякі переходи і вести паралельну обробку поверхонь заготовки. Ескіз заготовки на операції 010 наведений на рисунку 1.4.

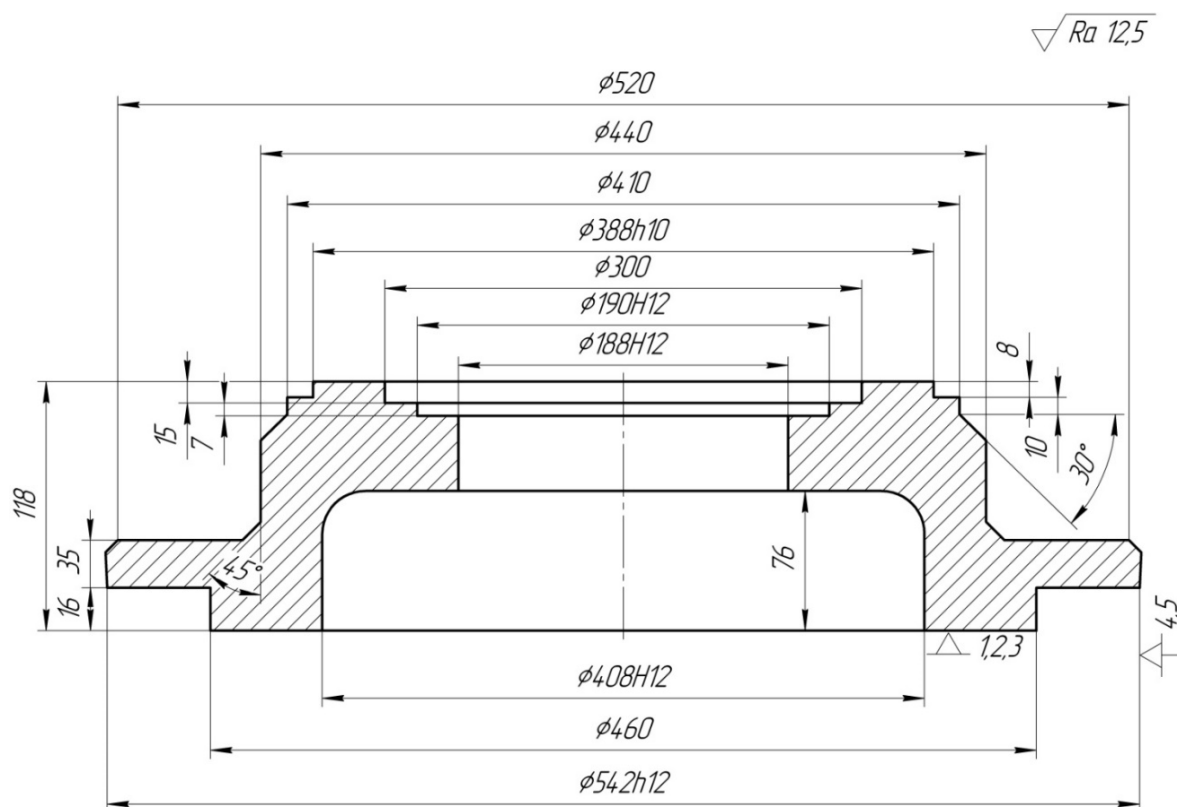


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки на операції 010

Базами на першому установі є поверхні  $\varnothing 560$  і торець  $\varnothing 560/\varnothing 175$  (див. рис. 1.3). Оброблюються поверхні  $\varnothing 408H12$ ,  $\varnothing 460$ ,  $\varnothing 542h12$  та витримуються розміри 76 мм, 16 мм, 35 мм.

На другому установі базами є торець  $\varnothing 460/\varnothing 408H12$  і  $\varnothing 542h12$ , які оброблені на першому установі. Остаточню оброблюються зовнішні поверхні  $\varnothing 440$ ,  $\varnothing 388h10$ ;  $\varnothing 300$  та внутрішні –  $\varnothing 190h12$ ;  $\varnothing 188h12$ , та забезпечуються лінійні розміри 7 мм, 15 мм, 118 мм, 8 мм, 10 мм, конічні поверхні  $\varnothing 542 \times 45^\circ$ ,  $\varnothing 440 \times 30^\circ$ . Пристрій для базування і закріплення заготовки – токарний патрон трикулачковий, самоцетруючий згідно з ГОСТ 24351–80.

Операція 015 «Токарно-карусельна». Обробка виконується на верстаті моделі 1512. Структура операції – один установ, одинадцять технологічних переходів. Ескіз заготовки наведений на рисунку 1.5.

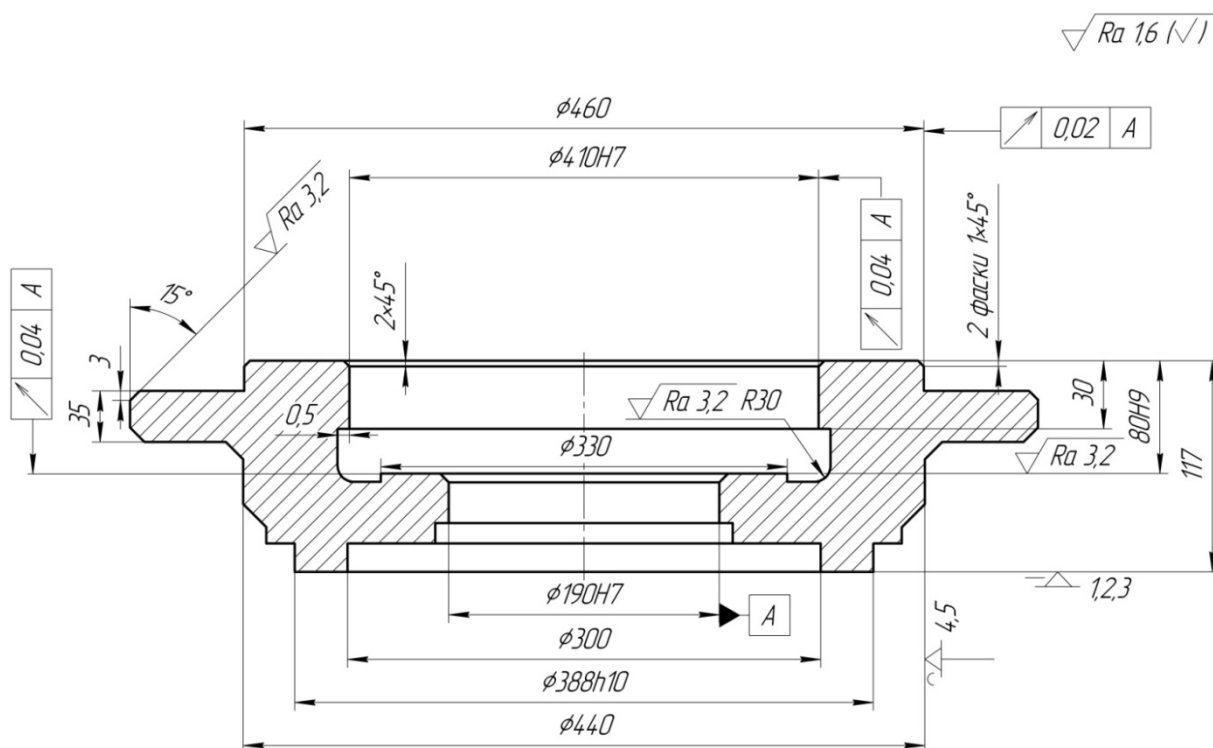


Рисунок 1.5 – Ескіз заготовки на операції 015

Базами на операції є поверхні  $\varnothing 440$  і торець  $\varnothing 388h10/\varnothing 300$ . На операції витримуються технічні вимоги креслення по радіальному биттю поверхонь  $\varnothing 549g6$ ;  $\varnothing 410H7$ ; торця  $\varnothing 330/\varnothing 190H7$  відносно поверхні  $\varnothing 190H7$ (ОКБ).

Операція 020 – «Токарно-карусельна». Обробка виконується на верстаті моделі 1512. Етап обробки – півчистовий і чистовий. Заготовка установлена на торець  $\varnothing 460/\varnothing 410H7$  і оправку  $\varnothing 190H7/h6$ . Структура операції складається із восьми технологічних переходів. Ескіз заготовки наведений на рисунку 1.6.

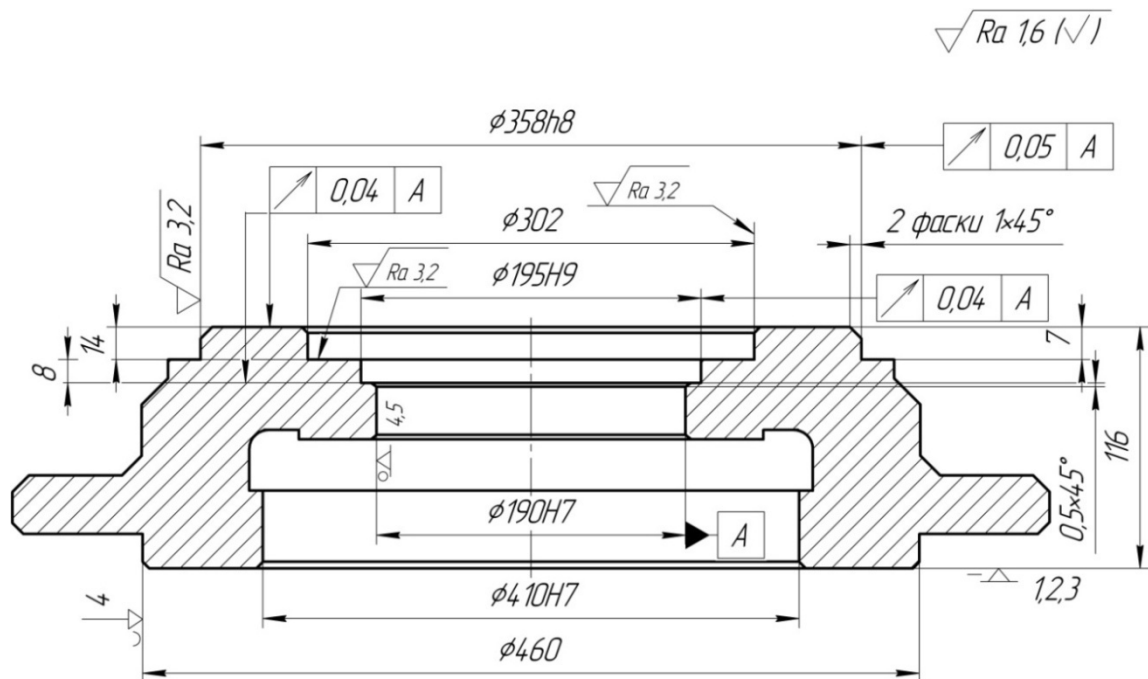


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки на операції 020

На операції застосовуються спеціальна оправка  $\varnothing 190h6$  та не центрувальний, чотирьох кулачковий патрон. На операції остаточно витримуються технічні вимоги креслення по взаємному розташуванню циліндричних поверхонь заготовки і підготовлені базові поверхні під пази і різьбові отвори.

Операція 025 «Вертикально-фрезерна». Обробка виконуються на верстаті моделі 6A56, етап обробки – чорновий. Заготовка встановлюється на обертовий стіл, який має механізм потрібний для витримування кутового розташування пазів. Бази заготовки - торцева поверхня  $\varnothing 460/\varnothing 410H7$  і отвір  $\varnothing 109H7$ . Операція складається із 13-и технологічних переходів. Розміри, розташування пазів та інші технічні вимоги наведені на кресленні Н05.27.144.02.



Операція 030 «Радіально-свердлильна». Обробка виконується на радіально-свердлильному верстаті моделі 2М57. На операції оброблюється дванадцять отворів  $\varnothing 22$  і  $\varnothing 7$  на глибину 7 мм; чотири отвори М20–7Н; три отвори М8–7Н. Наведені отвори оброблюються на першому установі заготовки. Бази: торцева поверхня  $\varnothing 460/\varnothing 410\text{H}7$  і отвір  $\varnothing 190\text{H}7$ . На другій установці оброблюється отвір із різью М8–7Н, яке розташоване на відстані радіусом R175 мм. Базами є: торцева поверхня  $\varnothing 385\text{h}8/\varnothing 302$ , отвір  $\varnothing 190\text{H}7$  та паз шириною 18 мм (радіусом R9). Розміри, технічні вимоги на обробку наведених отворів наведені на кресленні Н05.27.144.02.

Операція 035 «Плоскошліфувальна». Обробка виконується на плоскошліфувальному верстаті із обертальним круглим столом. Модель верстат ЗД741А. Структура операції – один установ, один технологічний перехід. Заготовка базується по площині торця  $\varnothing 385\text{h}8/\varnothing 302$  і отвору  $\varnothing 190\text{H}7$ . Оброблюється торцева поверхня  $\varnothing 460/\varnothing 410\text{H}7$ . Мета операції – забезпечити шорсткість поверхні в межах  $R_a = 0,63 - 0,8$  мкм і технічні вимоги креслення – відхилення від площинності в межах 0,02 мм.

## **1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення секції**

Аналіз основних механічних операцій базового технологічного процесу обробки секції визначив задачі для його удосконалення.

1 В кожній структурі операцій 010, 015, 020, 025 є значна кількість технологічних переходів, яка призводить до значного збільшенню допоміжного часу в загальній структурі окремої операції. Для зменшення допоміжного часу кожної операції пропонується призначити сучасні моделі верстатів з ЧПК та відповідними пристроями. Пропонуємий захід дозволить зменшити час налагодження на потрібний розмір заготовки та трудомісткість операцій.

2 Для умов середньосерійного типу виробництва пропонується вихідну заготовку виготовляти на КГШП, що дозволить зменшити масу і припуски на оброблювальні поверхні заготовки. Також це призведе до зменшення часу механічної обробки поверхонь на операціях технологічного процесу виготовлення секції.

3 На операції 035, на якій фрезеруються пази, треба застосувати вертикально-фрезерний верстат з ЧПК, який дозволить виходити столу верстата на потрібну координатну відстань із точністю 0,01 мм. Це дозволить витримати кутові відстані пазів згідно вимог креслення та зменшити час налагодження на їх оброблення.

4 На оздоблювальній операції треба забезпечити шорсткість  $R_a = 0,63$  мкм, площинність поверхні в межах 0,02 мм та радіальне биття в межах 0,03 мм. Для забезпечення цих вимог треба застосувати спосіб подвійної осциляції брусків, який оброблює площинну поверхню за ударно-циклічною та циклічною схемам різання, та розрахувати відповідні режими різання. В існуючому технологічному процесі сталь марки 20X13 оброблюється абразивним інструментом (шліфувальним кругом). Температурний фактор в робочій зоні шліфування становить (700–800) °С, що в багатьох випадках призводить на оздоблювальній площинній поверхні аморфний шар. В деяких випадках, окремо виступаючі абразивні зернини шліфувального круга призводять до появи задирок на поверхні заготовки. Заміна методу оброблення поверхні дозволить виправити існуючий недолік.

5 Розробити оптимальний МТП обробки секції, структури операцій, виконати розрахунок режимів різання та норм часу на окремі операції.

6 На операції для фрезерування дванадцяти пазів розміром 50 x 15 мм та одного паза 18 мм (радіусом R9) застосувати верстат з ЧПК, розробити спеціальний верстатний пристрій для швидкого і точного установаження заготовки і виконати відповідні розрахунки.

## РОЗДІЛ 2

### УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СЕКЦІЇ

#### 2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі

Пропонується оптимальний маршрутний технологічний процес (МТП) механічної обробки секції, стосовно заданого типу виробництва (див табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – МТП механічної обробки секції

Номер операції	Найменування та зміст операції	Модель верстата
1	2	3
005	<i>Обробка тиском.</i> Штамповка на гідравлічному пресі.	КГШП
010	<i>Термічна обробка.</i> Відпалювання, нормалізація.	Піч
015	<i>Токарна з ЧПК.</i> Чернове точіння з $\varnothing 550$ до $\varnothing 544h12$ , $\varnothing 460$ – остаточно, розточування з $\varnothing 400$ до $\varnothing 406H12$ , з $\varnothing 179$ до $\varnothing 186H12$ , радіуса R30, підрізання торців $\varnothing 544/\varnothing 460$ , $\varnothing 460/\varnothing 406$ , $\varnothing 406/186$ із витримуванням розмірів 119h12; 16,5Js12; 76Js12.	1A512MФ3
020	<i>Токарна з ЧПК.</i> Чернове точіння з $\varnothing 450$ до $\varnothing 440$ , $\varnothing 410$ , $\varnothing 388h12$ , розточування з $\varnothing 293$ до $\varnothing 300$ , точіння фасок з кутами $45^\circ$ і $30^\circ$ , підрізання торців $\varnothing 388/\varnothing 300$ , $\varnothing 410/\varnothing 388$ , $\varnothing 520/\varnothing 440$ , $\varnothing 300/\varnothing 186$ із витримуванням розмірів 66,5 мм, 10 мм, 7,5 мм, 14 мм, 188(0;-0,4) мм.	1A512MФ3
025	<i>Токарна з ЧПК.</i> Півчистова и чистова обробка. Точаться остаточно у розмір $\varnothing 540g6$ ; $\varnothing 410H7$ ; $\varnothing 330$ ; $\varnothing 190H7$ ; точиться поверхня радіусом R30, підрізається торець $\varnothing 460/\varnothing 410$ и $\varnothing 330/\varnothing 190$ із припуском під тонке точіння і витримується розміри 116,5 мм та 80,1H9, технічні вимоги креслення по взаємному розташуванню поверхонь і шорсткості.	1A512MФ3
030	<i>Токарна з ЧПК.</i> Півчистова и чистова обробка. Точаться остаточно $\varnothing 385h8$ , $\varnothing 302$ , $\varnothing 195H9$ , торці $\varnothing 385/\varnothing 302$ ; $\varnothing 302/\varnothing 195$ , фаски $1 \times 45^\circ$ ; $0,5 \times 45^\circ$ . Витримуються розміри 14 мм, 8 мм, 116,2(0;-0,35) мм, технічні вимоги креслення по взаємному розташуванню поверхонь і шорсткості.	1A512MФ3
035	<i>Фрезерна з ЧПК.</i> Фрезеруються послідовно 12-ь пазів розмірами 50x50x15 мм, один паз 18 мм (R9) довжиною 35 мм, витримується кутове розташування пазів $30^\circ \pm 30'$ .	654Ф3
040	<i>Свердлильна з ЧПК.</i> Свердляться послідовно 12 отворів $\varnothing 7 \times 7$ мм, 12 отворів $\varnothing 7$ на прохід, свердляться 12 отворів с $\varnothing 7$ до $\varnothing 22$ , свердляться 4 отвори $\varnothing 17,4$ під різь M20-7H, зенкуються 4 отвори $\varnothing 21$ розташованих під кутом $120^\circ$ . Свердляться 3 отвори $\varnothing 6,7 \times 18(+1,9;0)$ мм і зенкуються фаски $\varnothing 8,4$ з кутом $120^\circ$ , ріжеться різь M8x1,25-7H на довжину 10(+1,5;0) мм (чорновий і чистовий ходи).	2M55Ф3

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
045	<i>Свердлильна з ЧПК.</i> Зенкуються 4 фаски $\varnothing 21$ з кутом $120^\circ$ , ріжеться різь М20х2,5–7Н на прохід (чорновий і чистовий ходи), свердлиться отвір $\varnothing 6,7 \times 16(+1,8;0)$ , зенкується фаска $\varnothing 12$ , зенкується фаска $\varnothing 8,4$ з кутом $120^\circ$ , ріжеться різь М8х1,25–7Н на довжину $12(+1,8;0)$ мм (чорновий і чистовий ходи).	2М55Ф3
050	<i>Токарно-карусельна.</i> Способом подвійної осциляції бруска оброблюється торець $\varnothing 460/\varnothing 410$ , витримується розмір 116 мм, а також технічні вимоги креслення (радіальне биття, площинність, шорсткість поверхонь $R_a = 0,63$ мкм). Підрізається торець $\varnothing 330/\varnothing 190$ Н7 і витримується розмір 80Н9 мм.	1512
055	<i>Промивання.</i> Деталь промивається у ванні лужним розчином, температурою $50-60^\circ\text{C}$ .	Ванна
060	<i>Технічний контроль.</i> Контроль діаметральних поверхонь $\varnothing 540$ g6; $\varnothing 385$ h8; $\varnothing 410$ Н7; $\varnothing 190$ Н7; $\varnothing 195$ Н9; лінійних розмірів 80Н9, 116 мм, технічні вимоги креслення по розташуванню поверхонь, шорсткість поверхонь $R_a = 0,63$ мкм, $R_a = 1,6$ мкм.	Стіл ВТК

## 2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Аналіз розмірів, маси и технічних вимог креслення встановив, що заготовка може бути отримана штамповкою на штампувальних пароповітряних або гідравлічних пресах [2, 5].

1. Визначимо вартість заготовки  $S_3^1$ , яка отримана куванням на пароповітряному молоті [2, 5] (див. рис. 2.1).

$$S_3^1 = M_3^1 \cdot C_{оз} \left( 1 + \frac{\alpha_{тз}}{100\%} \right) - (M_3^1 - G_d) \cdot C_{от},$$

де  $S_3^1$  – вартість заготовки деталі, грн;

$M_3^1 = 188,2$  кг – маса заготовки;

$C_{оз}$  – оптова ціна одного кг заготовки, грн;

$\alpha_{тз} = 5 - 7\%$  – транспортно-заготівельні витрати, приймаємо  $\alpha_{тз} = 7\%$ ;

$G_d = 60$  кг – маса деталі;

$C_{от} = 1260 - 1280$  грн – ціна однієї тони відходів, приймаємо  $C_{от} = 1280$  грн.

Оптова ціна розраховується за формулою [2]:

$$\begin{aligned} C_{от} &= \frac{C_{опт}}{1000} \cdot K_{мз} \cdot K_{сл} \cdot K_{оп} \cdot \left( 1 + \frac{b_{тз}}{100\%} \right) = \\ &= \frac{13600}{1000} \cdot 0,72 \cdot 0,9 \cdot 1,15 \cdot \left( 1 + \frac{8\%}{100\%} \right) = 11 \text{ грн}, \end{aligned}$$

де  $C_{\text{опт}} = 13600$  грн – оптова ціна однієї тони штамповки;

$K_{\text{мз}} = 0,72$  – коефіцієнт, який враховує масу штамповки;

$K_{\text{сл}} = 0,9$  – коефіцієнт, який враховує групу складності заготовки (група 2);

$K_{\text{оп}} = 1,15$  – коефіцієнт, який враховує об'єм виробництва (група серійності);

$b_{\text{тз}} = 8\%$  – показник, який характеризує точність заготовки, %.

Тоді вартість  $S_3^1$  визначиться:

$$S_3^1 = 188,2 \cdot 11 \cdot \left(1 + \frac{7\%}{100\%}\right) - (188,2 - 60) \cdot 1,28 \approx 2051 \text{ грн.}$$

2. Визначимо вартість заготовки  $S_3^2$ , яка отримана на гідравлічному пресі [2] (див. рис. 2.2):

$$\begin{aligned} S_3^2 &= M_3^2 \cdot C_{\text{оз}} \left(1 + \frac{\alpha_{\text{тз}}}{100\%}\right) - (M_3^2 - G_{\text{д}})C_{\text{от}} = \\ &= 108 \cdot 11 \left(1 + \frac{7\%}{100\%}\right) - (108 - 60) \cdot 1,28 = 1210 \text{ грн,} \end{aligned}$$

де  $M_3^2 = 108$  кг – маса заготовки, яка отримана на гідравлічному пресі.

Приймаємо спосіб виготовлення заготовки – штампування на гідравлічному пресі, тому що собівартість  $S_3^2 = 1210$  грн  $<$   $S_3^1 = 2051$  грн.

#### *Розрахунок розмірів штампованої заготовки.*

1. Призначається спосіб штамповки [8, т. 19, с. 28] – штамповка на гідравлічному пресі.

2. Встановлюється розташування поверхні рознімання штампів (див. креслення Н05.27.144.02).

3. Призначається клас точності поковки [8, т. 19, с. 28] – Т4.

4. Встановлюється група сталі [8, т. 1, с. 7–8] – М3. Масова доля вуглецю  $C = 0,2\%$ , сумарна маса легуючих елементів:  $0,8\%Si + 0,8\%Mn + 14\%Cr + 0,025\%S + 0,03\%P + 0,2\%Ti + 0,3\%Cu + 0,6\%Ni = 16,8\% > 5\%$  за даними таблиці 2.1 [8].

5. Визначається степінь складності С2 поковки [8, додаток 2, с. 29–30].

Об'єм фігури  $V_{\phi}$  визначається за формулою:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot l_{\phi} \cdot 1,05 = \frac{3,14 \cdot 54^2 \cdot 11,6 \cdot 1,05}{4} \approx 27881 \text{ см}^3.$$

Об'єм заготовки (штамповки)  $V_3 = 9318 \text{ см}^3$ . Тоді

$$C = \frac{V_3}{V_\phi} = \frac{9318}{27881} = 0,34.$$

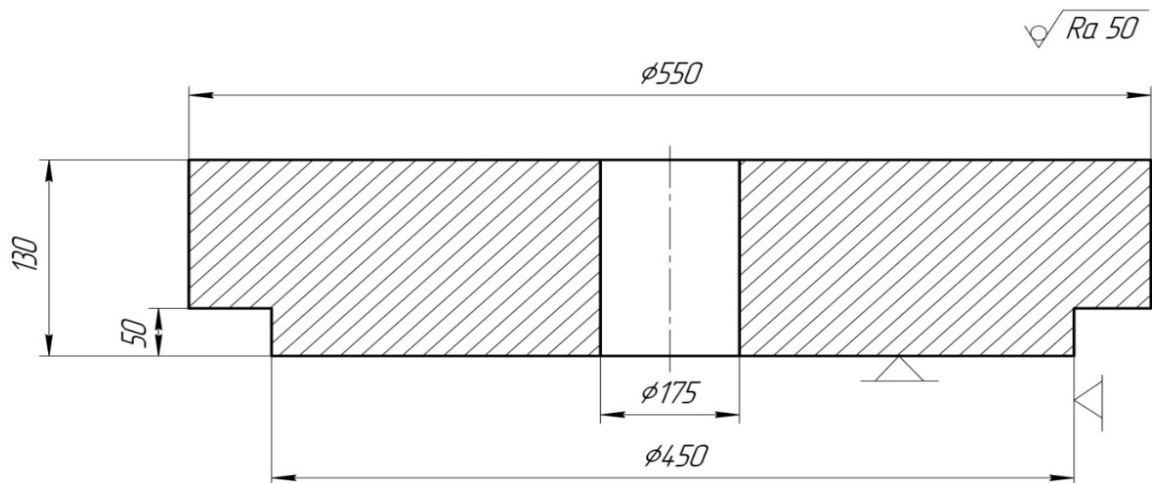


Рисунок 2.1 – Поковка, яка виготовлена на штампувальному молоті

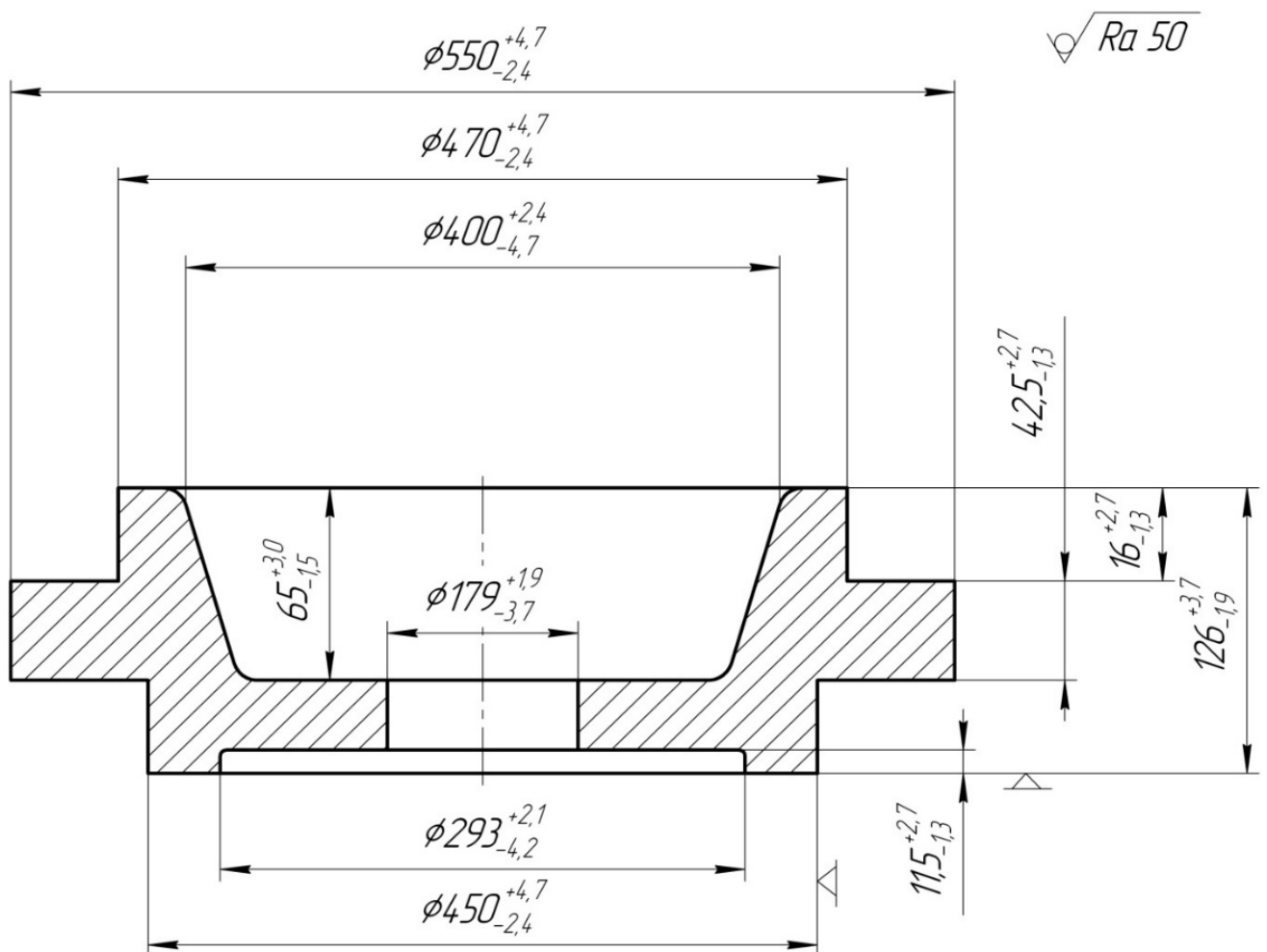


Рисунок 2.2 – Штамповка, яка виготовлена на гідравлічному пресі

Якщо  $0,32 < C2 \leq 0,63$  [8, додаток 2, с. 29–30], то степінь складності штамповки становить  $C2$ .

6. Визначається маса поковки:

$$m_{\text{п}} = m_{\text{д}} \cdot K_{\text{р}} = 60 \cdot 1,8 = 108 \text{ кг,}$$

де  $K_{\text{р}} = 1,5–1,8$  [8, т. 20, с. 31], приймається  $K_{\text{р}} = 1,8$ .

7. Визначається вихідний індекс (VI) [8, т. 2, с. 10] –  $VI = 18$ .

8. Встановлюються основні і допоміжні припуски на механічну обробку (на сторону) [8, т. 3, с. 12–13], а також граничні відхилення розмірів [8, т. 8, с. 17–19] (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Припуски і допуски на поверхні заготовки

Розмір поверхні деталі на кресленні	Шорсткість поверхні $R_a$ , мкм	Основний і допоміжний припуск (на сторону), мм	Допуск, мм	Розміри поверхні заготовки (на кресленні), мм
1	2	3	4	5
Ø540g6	1,6	4,3+0,6=4,9	7,1( <sup>+4,7</sup> <sub>-2,4</sub> )	Ø550 <sup>+4,7</sup> <sub>-2,4</sub>
Ø460	6,3	4,3+0,6=4,9	7,1( <sup>+4,7</sup> <sub>-2,4</sub> )	Ø470 <sup>+4,7</sup> <sub>-2,4</sub>
Ø410H7	1,6	4,3+0,6=4,9	7,1( <sup>+4,7</sup> <sub>-2,4</sub> )	Ø400 <sup>+4,7</sup> <sub>-2,4</sub>
Ø440	6,3	4,3+0,6=4,9	7,1( <sup>+4,7</sup> <sub>-2,4</sub> )	Ø450 <sup>+4,7</sup> <sub>-2,4</sub>
Ø190H7	1,6	3,5+0,6=4,1	5,6( <sup>+1,9</sup> <sub>-3,7</sub> )	Ø181 <sup>+1,9</sup> <sub>-3,7</sub>
Ø302	3,2	3,8+0,6=4,4	6,3( <sup>+2,1</sup> <sub>-4,2</sub> )	Ø293 <sup>+2,1</sup> <sub>-4,2</sub>
Товщина 116	0,63/1,6	4,1+3,8+0,8·2=9,5	5,6( <sup>+3,7</sup> <sub>-1,3</sub> )	126 <sup>+3,7</sup> <sub>-1,3</sub>
Товщина 35	6,3/6,3	3+0,8+3+0,8=7,6	4,0( <sup>+2,7</sup> <sub>-1,3</sub> )	42,5 <sup>+2,7</sup> <sub>-1,3</sub>
Товщина 15	0,63/6,3	(4,1+0,8)-(3+0,8)=1,1	4,0( <sup>+2,7</sup> <sub>-1,3</sub> )	16 <sup>+2,7</sup> <sub>-1,3</sub>
Глибина 80H9	0,63/3,2	80·0,8=64	4,5( <sup>+3,0</sup> <sub>-1,5</sub> )	65 <sup>+3,0</sup> <sub>-1,5</sub>
Глибина 14	1,6/3,2	14·0,8=11,2	4,0( <sup>+2,7</sup> <sub>-1,3</sub> )	11,5 <sup>+2,7</sup> <sub>-1,3</sub>

9. Визначаються радіуси закруглень зовнішніх і внутрішніх кутів для глибини рівчачка [8, т. 7, с. 15] – 5,0 мм.

10. Визначаються допуски радіусів закруглень [8, пункт 5.23] – 2 мм; допуск величини зміщення частин штампа по поверхні їх рознімання [8, пункт 5.7] – 1,4 мм.

11. Визначається конфігурація рознімання штампа [8, т. 1, с. 7–8] – П (площинна).

12. Установлюється величина висоти торцевої задирки – 6 мм [8, пункт 5.10, с. 21].

13. Граничне відхилення від площинності – 0,8 мм [8, т. 10, с. 21].

14. Досягне зміщення від концентричності пробитого отвору відносно зовнішнього контуру поковки – 2,5 мм [8, т. 12, с. 23].

15. Досяжна величина остаточного облоя – 1,6 мм [8, т. 10, с. 21].

16. Встановлюються штампувальні укліни: на зовнішній поверхні – 7°, на внутрішній поверхні – 10° [8, т. 18, с. 26].

За результатами розрахунків виконується креслення заготовки (див креслення «Секція. Штамповка» Н05.27.144.02).

### 2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Розрахунок припусків на обробку проміжних граничних розмірів виконується для отвору  $\varnothing 190H7(+0,046;0)$  мм і шорсткістю поверхні  $R_a = 1,6$  мкм.

Вихідні дані: штамповка, яка отримана на ГП згідно з ГОСТ 7505–89, маса заготовки  $M_z = 108$  кг, маса деталі  $M_d = 60$  кг, матеріал – сталь 20X13 ГОСТ 5632–72.

1) Беремо значення  $R_{zi-1}$  и  $H_{i-1}$ .

Заготовка  $R_{zi-1} = 200$  мкм,  $H_{i-1} = 300$  мкм [1, т. 4.3, с. 63].

Чорнова обробка  $R_{zi-1} = 100$  мкм,  $H_{i-1} = 100$  мкм [1, т. 4.5, с. 64].

Півчистова і чистова обробка  $R_{zi-1} = 50$  мкм,  $H_{i-1} = 50$  мкм [1, т. 4.6, с. 65].

2) Визначаємо значення  $\rho_{i-1}$  [1].

Заготовка –  $\rho_{заг} = 2865$  мкм.

Чорнове розточування  $0,06\rho_{заг} = 0,06 \cdot 2865 = 172$  мкм.

Півчистове розточування  $0,05\rho_{заг} = 0,05 \cdot 2865 = 143$  мкм.

Чистове розточування  $0,04\rho_{заг} = 0,04 \cdot 2865 = 115$  мкм.

3) Визначаємо значення  $\varepsilon_{i-1}$  при чорновому розточуванні:

$$\varepsilon_{yi} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{10^2 + 500^2} = 500 \text{ мкм,}$$

де  $\varepsilon_6 = 0,01$  мм – допуск радіального биття патрона;

$\varepsilon_3 = 500$  мкм – похибка закріплення заготовки при її установленні в радіальному напрямку.

Визначаємо значення  $\varepsilon_{i-1}$  на півчистовому и чистовому переходах:

$$\varepsilon_{i-1} = \sqrt{10^2 + 100^2} = 100 \text{ мкм.}$$



Розрахунок припусків і граничних розмірів заготовки виконаний за програмою «rpr» і наведений в додатку А пояснювальної записки. Схема розташування припусків і допусків наведена на рисунку 2.3.

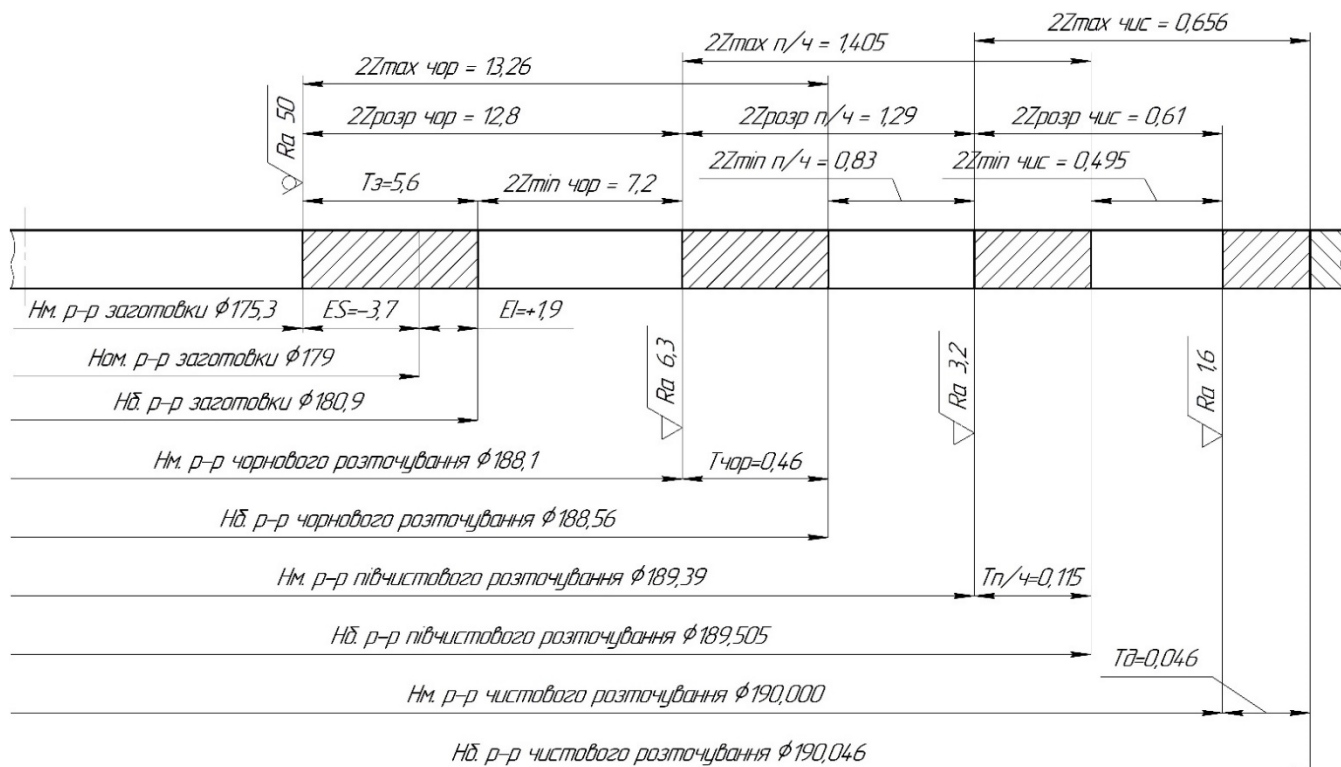


Рисунок 2.3 – Схема розташування припусків і допусків на обробку отвору діаметром 190H7(+0,046;0) мм

#### 2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Операція 015 «Токарна з ЧПК». Верстат моделі 1A512МФ3. Схеми базування заготовки наведені на рисунках 2.4 та 2.5.

Базування і закріплення заготовки виконується у трикулачковому патроні. В двох наведених схемах базування заготовка базується по циліндричній поверхні  $\phi 450(+4,7;-2,4)$ . В схемі №1 базування виконується по торцю  $\phi 450/\phi 293$ , а в схемі №2 по торцю  $\phi 544/\phi 450$ . Наведені варіанти базування будуть впливати на точність лінійних розмірів секції  $123(0;-0,4)$  мм,  $76 \pm 15$  мм,  $15,7 \pm 0,09$  мм,  $39,8(0;-0,62)$  мм, якщо при їх обробки буде використаний «спосіб досягнення точності розмірів на попередньо налагоджувальному верстаті».

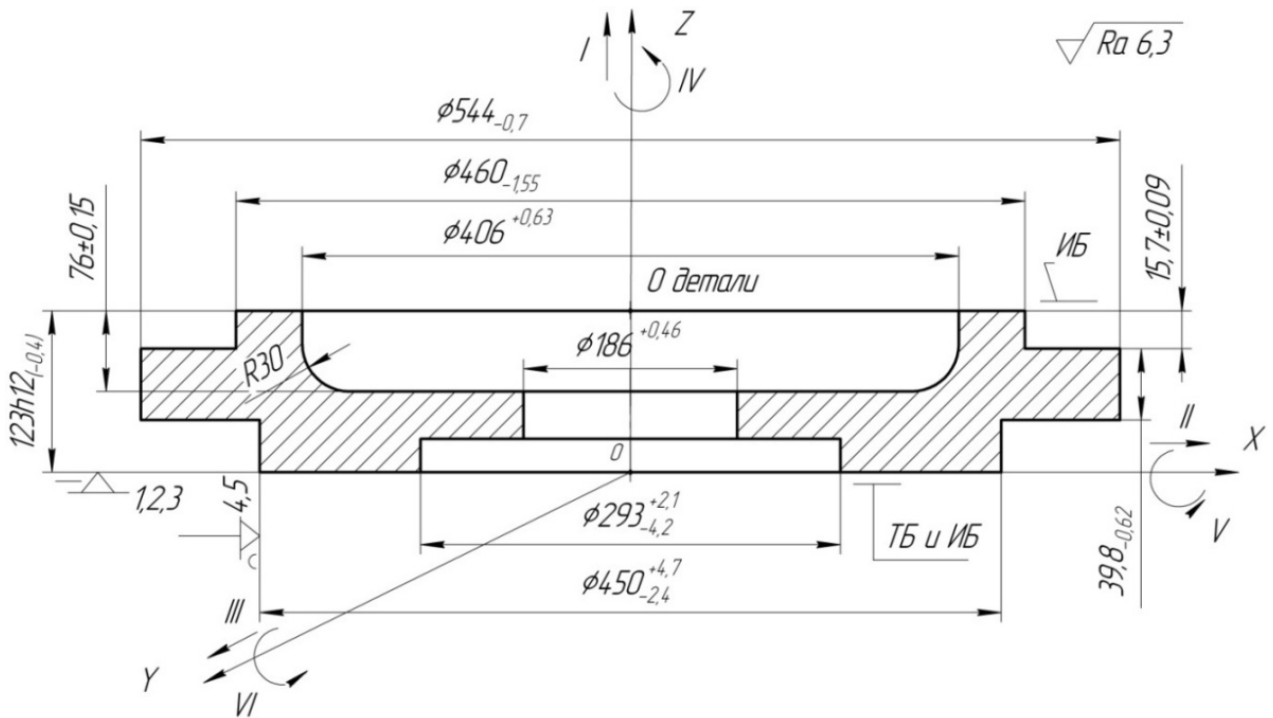


Рисунок 2.4 – Ескіз деталі на операції 015. Схема №1

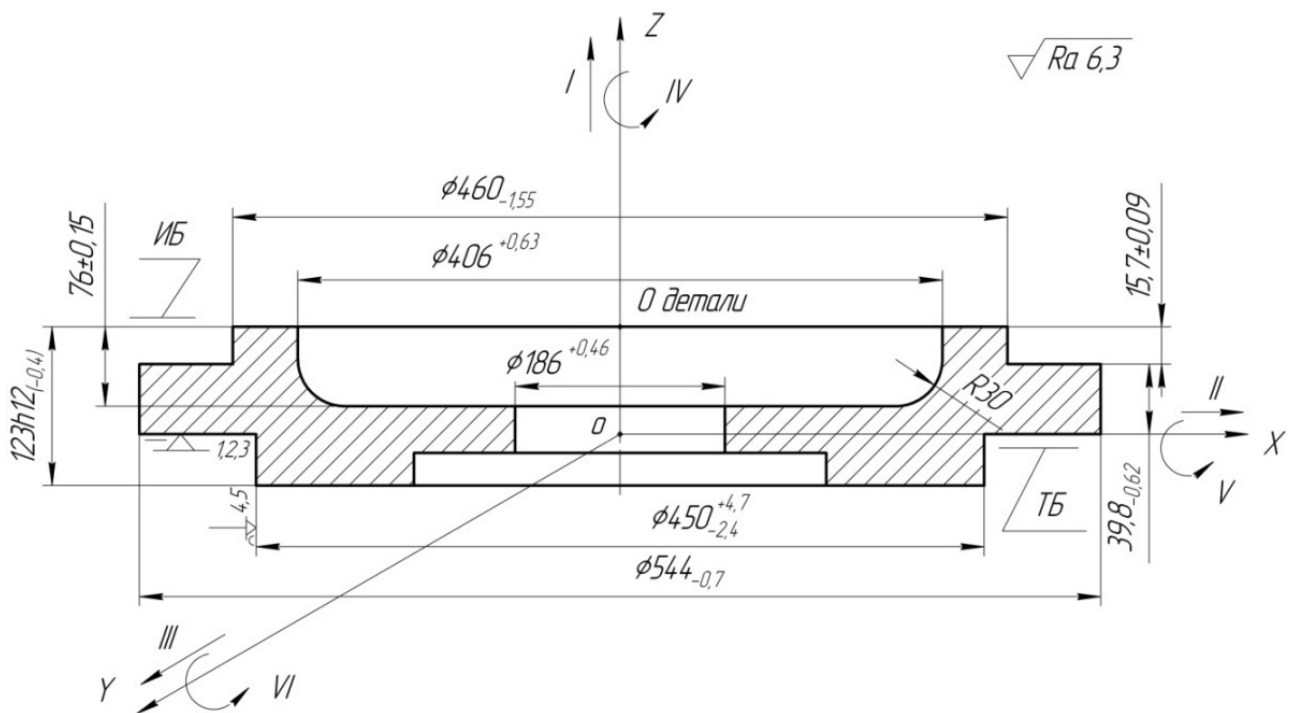


Рисунок 2.5 – Ескіз деталі на операції 015. Схема №2

За класифікацією баз згідно з ГОСТ 21496–76 ОКБ, які використовуються на операції, можна класифікувати за призначенням, характером прояву, кількості позбавлених степенів вільності (див. табл. 2.3 і 2.4).

Таблиця 2.3 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Кількість степенів вільності	Найменування бази, характер прояву
1, 2, 3	I, V, VI	УБ, явна
4, 5	II, III	ДОБ, явна
6	Вакансія	–

Таблиця 2.4 – Матриця зв'язків

$\alpha, 1 / X, Y, Z$	X	Y	Z	База
1	0	0	1	УБ
$\alpha$	1	1	0	
1	1	1	0	ПОБ
$\alpha$	0	0	0	
1	0	0	0	–
$\alpha$	0	0	0	
Всього	2	2	1	5 зв'язків

Класифікація баз однакова для двох наведених схем базування заготовки. За схемою №1 при виконанні розміру  $123(0;-0,4)$  мм ВБ і ТБ співпадають і похибка базування  $\varepsilon_{6123} = 0$  (див. рис. 2.4). Подальше оброблення поверхонь, за результатом яких з'являються розміри  $76 \pm 0,15$  мм та  $15,7 \pm 0,09$  мм, виконуються інструментом, якій не змінював своє налагодження після оброблення торця  $\varnothing 460/\varnothing 406$  мм.

Таким чином,  $\varepsilon_{676} = \varepsilon_{615,7} = 0$ . Окрім того, при обробки заготовки на верстаті з ЧПК налагоджувальною базою є ВБ (використовується «0» заготовки).

За схемою №2 бази ВБ і ТБ не співпадають (див. рис. 2.5). Точність виконання розміру  $123(0;-0,4)$  мм залежить від сумарного допуску розмірів  $15,7 \pm 0,09$  мм і  $38,9(0;-0,62)$  мм, якими з'єднані ВБ і ТБ. Тоді  $\varepsilon_{123} = T_{15,7} + T_{38,9} = 0,18 + 0,62 = 0,8$  мм. В цьому випадку  $T_{123} = 0,4$  мм  $<$   $\varepsilon_{123} = 0,8$  мм і точність розмірів для оброблювальної партії заготовок не буде забезпечена. Якщо сумістити вихідне налагодження інструменту із ВБ («0» деталі), то похибка базування  $\varepsilon_{123} = 0$  при виконанні точності розмірів  $123(0;-0,4)$  мм,  $76 \pm 0,15$  мм і  $15,7 \pm 0,09$  мм.

Таким чином, з двох наведених схем базування приймаємо схему №1.

Операція 035 «Фрезерна з ЧПК». Верстат моделі 654Ф3. Схема базування заготовки на операції 035 наведена на рисунках 2.6 і 2.7.

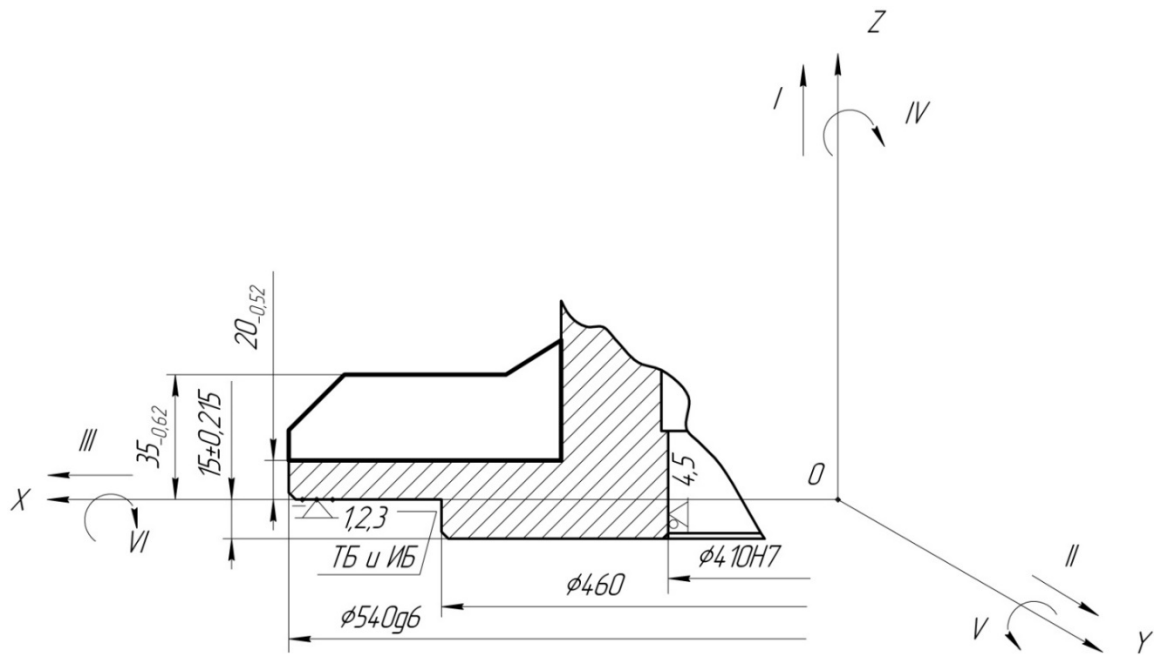


Рисунок 2.6 – Ескіз установки деталі на операції 035. Схема №1

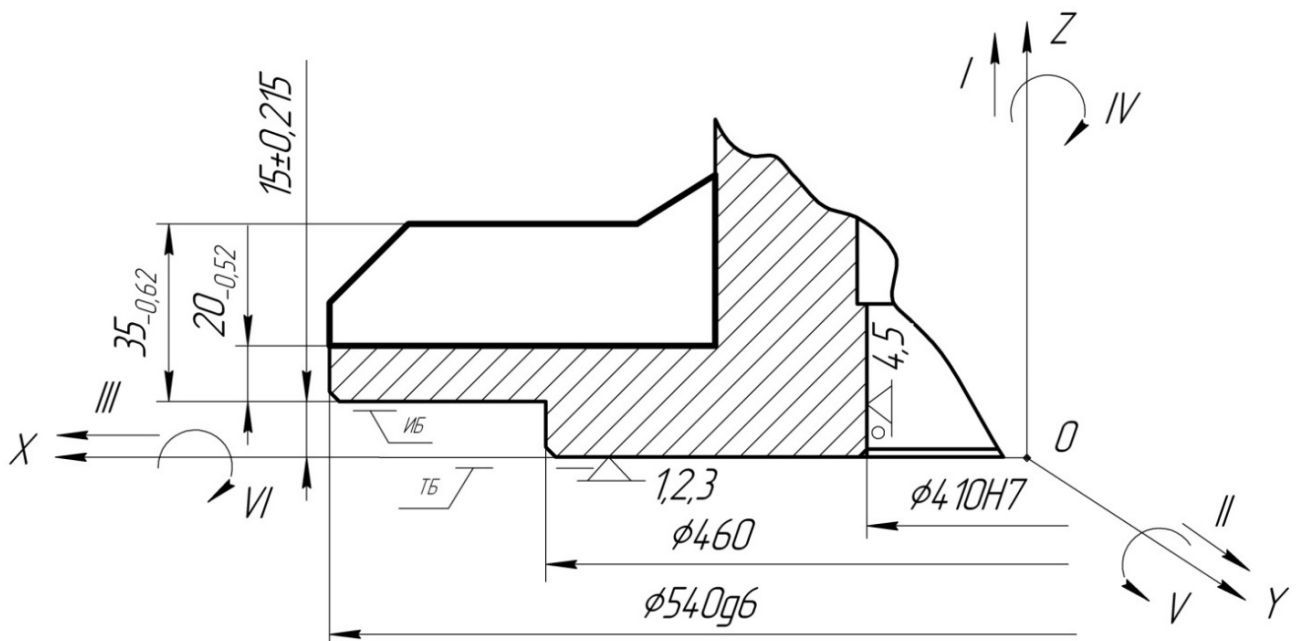


Рисунок 2.7 – Ескіз установки деталі на операції 035. Схема №2

На операції оброблюються дванадцять пазів розміром 50x50x15 мм. Пази розташовані по колу через кут  $15^\circ$  кожний. Також є один паз розміром 18x35 мм (див. креслення Н05.27.144.02). Точність розмірів усіх пазів забезпечується «мірним» інструментом - фрезою відповідного розміру. Точність взаємного розташування пазів

по колу і один відносно одного повинна забезпечуватися кінематичною точністю ділильного механізму пристрою. Якщо обробка буде виконуватися на верстаті з ЧПК, то кутова точність пазів забезпечиться дискретним заданням розмірів по координатам верстата. За паспортними даними верстата точність задання по координатам становить 0,01 мм, що не зробить появу похибки обробки.

При установці заготовки на операції використовується спеціальний пристрій. Базування заготовки в пристрої може виконуватися за двома схемами. За першою схемою заготовка базується  $\varnothing 410H7$  і торцю  $\varnothing 540g6/\varnothing 460$ , а за другою схемою –  $\varnothing 410H7$  і торцю  $\varnothing 460/\varnothing 410H7$ .

Схема базування заготовки на операції 035 за варіантами №1 і №2 буде однаковою (див. табл. 2.5 і 2.6).

Таблиця 2.5 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Степінь вільності	Назва бази
1, 2, 3	I, V, VI	Установча база (УБ)
4, 5	II, III	Подвійна опорна (ПОБ)
6	Вакансія	–

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків

1, $\alpha$ / X, Y, Z	X	Y	Z	База
1	0	0	1	УБ
$\alpha$	1	1	0	
1	1	1	0	ПОБ
$\alpha$	0	0	0	
1	0	0	0	
$\alpha$	0	0	0	
Всього	2	2	1	5 зв'язків

Установка заготовки за схемою №1 (див. рис. 2.6) забезпечить суміщення ТБ і ВБ, які розташовані на торці  $\varnothing 540g6/\varnothing 460$ . Точність виконання розміру  $20(0;-0,52)$  мм буде забезпечена точністю налагодження оператора на цей розмір (0,01 мм). Тому похибка базування  $\varepsilon_{20} = 0$  і розмір  $20(0;-0,52)$  мм при обробленні партії заготовок буде забезпечений.

Установка заготовки за схемою №2 (див. рис. 2.7) не передбачає суміщення ТБ із ВБ. У цьому випадку похибка базування  $\varepsilon_{620} = T_{15} = 0,43$  мм. Якщо  $T_{20} = 0,52$  мм  $> T_{15} = \varepsilon_{620} = 0,43$  мм, то точність розміру 20(0;-0,52) мм буде витримана на операції. Слід зазначити, що установка заготовки за схемою №1 забезпечує більш високу жорсткість технологічної системи (ТС) у порівнянні із схемою №2. При фрезеруванні кожного паза зусилля різання сприймається безпосередньо опорою пристрою. Тому із наведених двох схем базування приймаємо схема №1.

## 2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

На операції 015 «Токарна з ЧПК» діаметральні і торцеві поверхні забезпечуються методом точіння. Конструкція деталі, її маса, взаємне положення поверхонь (їх точність) дозволяє вибрати токарно-карусельний верстат з ЧПК моделі 1A512МФЗ див. табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Характеристика верстата моделі 1A512МФЗ

Найменування параметрів	Значення
1	2
Найбільші параметри оброблювальної поверхні, мм:	
діаметр	1450
висота	1000
маса, кг	6300
Найбільше переміщення вертикального (револьверного) супорта, мм:	
горизонтальне	1315
вертикальне	800
Діаметр планшайби, мм	1120
Дискретність задання розмірів по координатам, мм	0,01
Частота обертання планшайби, об/хв	1,0–335,0
Подача супорта (безступеневе регулювання), мм/хв	0,1–1000
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	55
Маса верстата, кг	26000

Це верстат агрегатного типу із одним стояком, який оснащений револьверною головкою на шість позицій різальних інструментів. Верстат рекомендується використовувати в дрібносерійному або серійному виробництвах. Потужність електродвигуна верстата достатня для багато-інструментального оброблення

заготовки, а габарити і маса верстата мають підвищену жорсткість технологічної системи, що дозволяє витримувати високу точність розмірів деталі.

На операції 035 «Фрезерна з ЧПК» оброблюється дванадцять пазів розміром 50x50x15 мм і один паз глибиною 9 мм і довжиною 35 мм. Розташування пазів на поверхні заготовки передбачає значний допоміжний час на налагодження кожного паза під оброблення. Для зменшення витрат допоміжного часу операції пропонується застосувати вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі 654Ф3 (див. табл. 2.8) [5].

Таблиця 2.8 – Характеристика верстата моделі 654Ф3

Найменування параметрів	Значення
1	2
Розміри робочої поверхні стола, мм:	630–1600
Число швидкостей шпинделю	18
Частота обертання шпинделя, об/хв:	25–1250
Подача стола (безступеневе регулювання), мм/хв	0,1–4800
Дискретність задання розмірів по координатам, мм	0,01
Потужність електродвигуна привода головного руху, кВт	5
Габаритні розміри, мм:	
довжина	3278
ширина	4526
висота	3571
Маса верстата, кг	11800

## 2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

На операції 015 «Токарна з ЧПК» доцільно використовувати трикулачковий спірально-рейкового класу «П» патрон діаметром 500 мм згідно з ГОСТ 2675–80. Стан технологічних баз заготовки – оброблені, сумарна сила закріплення – десятки кілоньютонів. Точність установки патрона в осьовому напрямку 30–120 мкм. Допуски биття, степені точності згідно з ГОСТ 24643–81, радіальних 7–10 мкм, торцевих 8–9 мкм. Точність патрона складає 50% і нижче величин радіального або торцевого биття поверхонь наведених в кресленні секції знаходиться в межах (20–50) мкм. За наведеними даними патрон можна використати на токарних операціях [5].

Різальний інструмент. Токарний збірний, контурний різець з механічним кріпленням клиновим затискачем трьох граней пластин із твердого сплаву марки Т5К10 ГОСТ 20874–75; кут в плані  $\psi = 92^\circ$ ; задній кут  $\alpha = 10^\circ$ ; передній кут  $j = 12^\circ$ ; радіус шпичака  $r = 1,2$  мм; період стійкості  $T = 30\text{--}60$  хв.

Токарний розточувальний різець з механічним кріпленням п'яти граней пласти із твердого сплаву марки Т5К10 ГОСТ 20872–80; кут в плані  $\psi = 93^\circ$ ; задній кут  $\alpha = 7^\circ$ ; передній кут  $j = 12^\circ$ ; радіус шпичака  $r = 1,0$  мм, період стійкості  $T = 30\text{--}60$  хв.

Токарний спеціальний різець (для точіння радіуса R30), матеріал різця Т5К10.

На операції 035 «Фрезерна з ЧПК» застосовується оправка і два гідравлічних затискача автономної дії з тиском у гідравлічній системі 10–15 МПа, які входять у склад спеціального пристрою. Цей пристрій треба проектувати.

Різальний інструмент. Для фрезерування дванадцяти пазів застосовується фреза 2223–0555 ВК6М ГОСТ 20538–75, з гвинтовими твердосплавними пластинами, діаметр фрези 50 мм, кількість зубів – 6, конус Морзе 5.

Для фрезерування паза радіусом R9 застосовується фреза із швидкорізальної сталі, умовне позначення 2220–0105 Р6М5 ГОСТ 17026–71, діаметром 18 мм, кількість зубів – 4, конус Морзе 2.

Вимірювальний інструмент. Для вимірювання радіусів деталі застосовуються спеціальні шаблони R25; R9. Для вимірювання лінійних розмірів деталі – штангенциркуль ШЦ–II–250–0,1 ГОСТ 166-89. Для вимірювання шорсткості поверхонь – зразки шорсткості згідно з ГОСТ 9378–75.

## 2.7 Розрахунок режимів різання

Операція 015 «Токарна з ЧПК». Верстат моделі 1А512МФ3.

На операції оброблюються торці  $\varnothing 460/\varnothing 406$ ,  $\varnothing 544/\varnothing 460$ , поверхні  $\varnothing 460(0;-0,63)$ ,  $\varnothing 544h12(0;-0,7)$ , розточуються поверхні  $\varnothing 406H12(+0,63;0)$ ,  $\varnothing 186H12(+0,46;0)$ , точиться радіус R30, підрізається внутрішній торець  $\varnothing 406/\varnothing 186$ .

Розрахунок виконується для переходу на якому точиться діаметр  $\varnothing 540g6$  (поверхня 3). Точиться поверхня з вихідним розміром  $\varnothing 550(+4,7;-2,4)$  до розміру



Ø544h12(0;-0,7). Забезпечується шорсткість поверхні  $R_a = 6,3$  мкм. Обробка виконується токарним різцем 2103–0696 Т5К10 ГОСТ 20872–80.

### 1. Глибина різання

$$t = \frac{550 - 544}{2} = 3 \text{ мм.}$$

2. Подача  $S = 1$  мм/об [5, т. 11, с. 266]. Рекомендується при обробки хромових сталей (сталь 20Х13) подачу більше 1 мм/об не приймати.

### 3. Швидкість різання $V$ , м/хв [5, с. 265]

$$V = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} = \frac{340 \cdot 1,04}{60^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 1^{0,45}} = 132,2 \text{ м/хв,}$$

де  $C_v = 340$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,45$ ,  $m = 0,2$  [5, т. 17, с. 269-270], – показники і степені у формулі при зовнішньому повздовжньому точінні конструкційній вуглецевої сталі;  $T = 60$  хв – стійкість різальної частини інструмента [6, с. 268].

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Иv} \cdot K_{Пv} = 0,3 \cdot 0,8 \cdot 1,4 = 1,04,$$

де  $K_{Mv} = K_\Gamma \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^n = 0,8 \left(\frac{750}{648}\right)^{1,0} = 0,93$ ;  $K_\Gamma = 0,8$ ;  $n_v = 1,0$  [5, т. 2, с. 262],

$K_{Иv} = 1,4$  [5, т. 6, с. 263];  $K_{Пv} = 0,8$  [6, т. 5, с. 263],  $\sigma_B = 648$  МПа.

### 4. Частота обертів заготовки $n$ , об/хв

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 132,2}{3,14 \cdot 550} = 76,6 \text{ об/хв.}$$

За паспортом верстата приймаємо  $n_\Pi = 65$  об/хв, тоді

$$V_\Phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\Pi}{1000} = \frac{3,14 \cdot 550 \cdot 65}{1000} = 112,3 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо подачу  $S_B = S_{n_\Pi} = 1 \cdot 65 = 65$  мм/хв.

6. Визначаємо сили різання  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  (Н) [5, с. 271] за формулами:

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_\Phi^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 3^1 \cdot 1^{0,75} \cdot 112,3^{-0,15} \cdot 0,8 = 3546,3\text{Н;}$$

$$P_y = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_\Phi^n \cdot K_p = 10 \cdot 243 \cdot 3^{0,9} \cdot 1^{0,6} \cdot 112,3^{-0,3} \cdot 0,77 = 1220,2\text{Н;}$$

$$P_x = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_\Phi^n \cdot K_p = 10 \cdot 339 \cdot 3^1 \cdot 1^{0,5} \cdot 112,3^{-0,4} \cdot 0,7 = 1077\text{Н,}$$

де  $P_z$ :  $C_p = 300$ ;  $x = 1,0$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = -0,15$ ; [5, т. 22, с. 273];

$P_y$ :  $C_p = 243$ ;  $x = 0,9$ ;  $y = 0,6$ ;  $n = -0,3$ ; [5, т. 22, с. 273];

$P_x$ :  $C_p = 339$ ;  $x = 1,0$ ;  $y = 0,5$ ;  $n = -0,4$  [5, т. 22, с. 273].

$$K_{pz} = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,9 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8,$$

$$\text{де } K_{Mv} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{648}{750}\right)^{0,75} = 0,9;$$

$$n = 0,75 \text{ [6, т. 9, с. 264]}, K_{\varphi p} = \{0,89(P_z); 0,5(P_y); 1,17(P_x)\}; K_{\gamma p} = \{1,0(P_z; P_y; P_x)\};$$

$$K_{\lambda p} = \{1,0; 1,7; 0,65\}; K_{rp} \text{ – немає [5, т. 23, с. 275].}$$

$$K_{py} = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,9 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1,7 = 0,77;$$

$$K_{px} = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,9 \cdot 1,17 \cdot 1 \cdot 0,65 = 0,7.$$

7. Визначаємо потужність різання  $N_e$ , кВт:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_\phi}{1020 \cdot 60} = \frac{3546,3 \cdot 112,3}{1020 \cdot 60} = 6,51 \text{ кВт.}$$

Порівняємо  $N \cdot \eta = 55 \cdot 0,75 = 41,25 \text{ кВт} > N_e = 6,51 \text{ кВт}$  – обробка можлива.

8. Визначаємо основний (машинний) час переходу  $T_o$ , хв:

$$T_o = \frac{L_p \cdot i}{n_{II} \cdot S_B} = \frac{43,5 \cdot 1}{65} = 0,67 \text{ хв,}$$

де  $L_p = l + l_{BP} + l_{ПЕР} = 68,7 + 2,5 + 2,3 = 43,5 \text{ мм}$  – розрахункова довжина обробки;

$l_{BP} = 2,5 \text{ мм}$  – величина врізання,  $l_{ПЕР} = 2,3 \text{ мм}$  – величина перебігу інструмента,  $i = 1$  – кількість ходів інструмента.

На інші переходи операції режими різання визначаються по таблицям [6]. Вибрані значення заносимо у таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Режими різання на операції 015

Різальний інструмент, матеріал	Розміри і номер поверхні	t, мм	i	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	L <sub>p</sub> , мм	T <sub>o</sub> , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Різець 2103-0696 Т5К10	ø460/ø406, №1	3,0	1	65	65	93,9/82,9	40	0,62
Різець 2103-0696 Т5К10	ø544/ø460, №2	2,7	1	65	65	112,3/93,9	42,5	0,66
Різець 2103-0696 Т5К10	ø544h12, №3	3	1	65	65	112,3	43,5	0,67
Різець 2103-0696 Т5К10	ø460, №4	5	2	65	65	96	19	0,59
Різець 2103-0696 Т5К10	ø 406H12, №5	3,0	6 5	65	65	83	68	0,62

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Різець 2103-0696 Т5К10	R30, №6	2,5	1	64,75	92,5	117,9	35	0,54
Різець 2103-0696 Т5К10	Ø186Н12, №7	3,5	1	89,6	128	74,8	36	0,4
Різець 2103-0696 Т5К10	Ø406/Ø186, №8	14	3	89,6	128	163,2/74,8	97,5	3,27
Всього								7,37

Операція 035 «Фрезерна з ЧПК». Верстат моделі 654Ф3.

На операції фрезеруються дванадцять пазів розміром 50 x 50 x 15 мм і один паз розміром 18 x 35 мм. Розрахунок виконується для фрезерування одного із дванадцяти пазів розміром 50x50x15 мм. Обробка виконується кінцевою фрезою  $D = 50$  мм, кількість зубів  $Z = 6$ ; матеріал фрези – ВК6М ГОСТ 20538–75.

1. Глибина різання  $t = 50$  мм [5, с. 282]

2. Подача  $S = 0,05$  мм/зуб [5, т. 36, с. 285], ширина фрезерування  $B = 15$  мм.

3. Швидкість різання  $V$ , м/хв [5, с. 282]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} = \frac{145 \cdot 50^{0,44} \cdot 0,88}{120^{0,37} \cdot 50^{0,24} \cdot 0,05^{0,26} \cdot 15^{0,1} \cdot 6^{0,13}} = 62,33 \text{ м/хв},$$

де  $C_v = 145$ ,  $q = 0,44$ ,  $x = 0,24$ ,  $y = 0,26$ ,  $u = 0,1$ ,  $p = 0,13$ ,  $m = 0,37$  [5, т. 39, с. 286–290],  $T = 120$  хв [5, т. 40, с. 290].

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv} = 1,1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,88,$$

де  $K_{Mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v} = 0,95 \left(\frac{750}{648}\right)^{1,0} = 1,1$ ;  $K_r = 0,95$ ;  $n_v = 1,0$  [5, т. 6, с. 263].

4. Визначаємо кількість обертів фрези  $n$ , об/хв [5]:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 62,33}{3,14 \cdot 50} = 397 \text{ об/хв}.$$

За паспортом верстата приймаємо  $n_{\Pi} = 400$  об/хв, тоді

$$V_{\Phi} = \frac{\pi D n_{\Pi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 400}{1000} = 62,8 \text{ м/хв}.$$

5. Визначаємо хвилинну подачу  $S_M = S_z \cdot Z \cdot n_{\Pi} = 0,05 \cdot 6 \cdot 400 = 120$  мм/хв.

6. Визначаємо силу різання (колову)  $P_z$  (Н):

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z \cdot K_{Mp}}{D^q \cdot n_{\Pi}^w} =$$

$$= \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 50^{0,86} \cdot 0,05^{0,75} \cdot 15^1 \cdot 6 \cdot 0,96}{50^{0,73} \cdot 400^{-0,13}} = 4147,5 \text{ Н},$$

де  $C_p = 12,5$ ;  $x = 0,86$ ;  $y = 0,75$ ;  $u = 1,0$ ;  $q = 0,73$ ;  $w = -0,13$  [6, т. 41, с. 291].

$$K_{Mv} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{648}{750} \right)^{0,3} = 0,96,$$

де  $n = 0,3$  [6, т. 9, с. 264];  $\sigma_B = 648$  МПа.

7. Визначаємо складові сили різання при фрезеруванні:

$$P_h = P_z \cdot (0,3-0,4) = 4147,5 \cdot 0,4 = 1659 \text{ Н};$$

$$P_v = P_z \cdot (0,95-0,85) = 4147,5 \cdot 0,95 = 3940,1 \text{ Н};$$

$$P_y = P_z \cdot (0,3-0,4) = 4147,5 \cdot 0,4 = 1659 \text{ Н};$$

$$P_x = P_z \cdot (0,5-0,55) = 4147,5 \cdot 0,55 = 2281,1 \text{ Н}.$$

Складова сили різання за якою розраховують оправку на вигін:

$$P_{yz} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2} = \sqrt{1659^2 + 4147,5^2} = 4467 \text{ Н}.$$

9. Визначаємо крутний момент  $M_{кр}$  (Н·м) на шпинделі:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{4147,5 \cdot 50}{2000} = 103,7 \text{ Нм}.$$

10. Визначаємо потужність різання (ефективна)  $N_e$ , кВт:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60} = \frac{4147,5 \cdot 62,8}{1020 \cdot 60} = 4,26 \text{ кВт}.$$

Порівняємо  $N_e = 4,26$  кВт  $< N \cdot \eta = 15 \cdot 0,8 = 12$  кВт і зробимо висновок, що режим різання виконується (де  $\eta = 0,8$  – ККД верстата).

11. Визначаємо основний (машинний) час обробки дванадцяти пазів  $T_{01}$ , хв:

$$T_{01} = \frac{L_{p1} \cdot i \cdot m}{S_M} = \frac{52,5 \cdot 1 \cdot 12}{120} = 5,25 \text{ хв},$$

де  $L_{p1} = 1 + 1_{ep} + 1_{nep} = 50 + 2,5 + 0 = 52,5$  хв – розрахункова довжина обробки паза;

$i = 1$  – кількість ходів інструмента;

$m = 12$  – кількість оброблюваних пазів.

Виконаємо розрахунок режиму різання для обробки паза розміром R9 мм. Інструмент: фреза кінцева  $D = 18$  мм, кількість зубів  $Z = 4$  згідно з ГОСТ 17026-71; матеріал різальної частини фрези P6M5 ГОСТ 19265-73.

1. Глибина різання  $t = 9$  мм [5, с. 282]
2. Подача  $S = 0,05$  мм/зуб [5, т. 35, с. 284]; ширина фрезерування  $B = 35$  мм.
3. Швидкість різання  $V$ , м/хв [5, с. 282]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} = \frac{22,5 \cdot 18^{0,35} \cdot 0,25}{80^{0,27} \cdot 9^{0,21} \cdot 0,05^{0,48} \cdot 35^{0,03} \cdot 4^{0,1}} = 9,86 \text{ м/хв},$$

де  $C_v = 22,5$ ,  $q = 0,35$ ,  $x = 0,21$ ,  $y = 0,48$ ,  $u = 0,03$ ,  $p = 0,1$ ,  $m = 0,27$  [5, т. 39, с. 286–290],  
 $T = 80$  хв [5, т. 40, с. 290].

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Пv} \cdot K_{Иv} = 1,05 \cdot 0,8 \cdot 0,3 = 0,25,$$

де  $K_{Mv} = K_\Gamma \cdot \left(\frac{750}{\sigma_b}\right)^{n_v} = 0,85 \left(\frac{750}{648}\right)^{1,45} = 1,05$ ;  $K_\Gamma = 0,85$ ;  $n_v = 1,45$  [5, т. 2, с. 262].

$$K_{Пv} = 0,8 \text{ [5, т. 5, с. 263]}; K_{Иv} = 0,3 \text{ [5, т. 2, с. 263]}.$$

4. Визначаємо кількість обертів фрези  $n$ , об/хв [5]:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 9,86}{3,14 \cdot 18} = 174,5 \text{ об/хв}.$$

За паспортом верстата приймаємо  $n_{II} = 160$  об/хв, тоді

$$V_\Phi = \frac{\pi D n_{II}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 18 \cdot 160}{1000} = 9,1 \text{ м/хв}.$$

5. Визначаємо хвилинну подачу  $S_m = S_z \cdot Z \cdot n_{II} = 0,05 \cdot 4 \cdot 160 = 32$  мм/хв.

6. Визначаємо силу різання (колову)  $P_z$  (Н):

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z \cdot K_{Mp}}{D^q \cdot n_{II}^w} =$$

$$= \frac{10 \cdot 82 \cdot 9^{0,75} \cdot 0,05^{0,6} \cdot 35^1 \cdot 4 \cdot 0,96}{18^{0,86} \cdot 160^0} = 7928 \text{ Н},$$

де  $C_p = 82$ ;  $x = 0,75$ ;  $y = 0,6$ ;  $u = 1,0$ ;  $q = 0,86$ ;  $w = 0$  [6, т. 41, с. 291].

$$K_{Mv} = \left(\frac{\sigma_b}{750}\right)^n = \left(\frac{648}{750}\right)^{0,3} = 0,96,$$

де  $n = 0,3$  [6, т. 9, с. 264];  $\sigma_b = 648$  МПа.

7. Визначаємо складові сили різання при фрезеруванні [5, т. 42, с. 292]:

$$P_h = P_z \cdot (1,1-1,2) = 7928 \cdot 1,2 = 9514 \text{ Н};$$

$$P_v = P_z \cdot (0-0,25) = 7928 \cdot 0,25 = 1982 \text{ Н};$$

$$P_y = P_z \cdot (0,4-0,6) = 7928 \cdot 0,6 = 4757 \text{ Н};$$

$$P_x = P_z \cdot (0,2-0,4) \cdot \tan \omega = 7928 \cdot 0,4 \cdot \tan 30^\circ = 1831 \text{ Н.}$$

Складова сили різання за якою розраховують оправку на вигін:

$$P_{yz} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2} = \sqrt{4757^2 + 7928^2} = 9246 \text{ Н.}$$

9. Визначаємо крутний момент  $M_{кр}$  (Н·м) на шпинделі:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{7928 \cdot 18}{2000} = 71,35 \text{ Нм.}$$

10. Визначаємо потужність різання (ефективна)  $N_e$ , кВт:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60} = \frac{7928 \cdot 9,1}{1020 \cdot 60} = 1,18 \text{ кВт.}$$

Порівняємо  $N_e = 1,18 \text{ кВт} < N \cdot \eta = 15 \cdot 0,8 = 12 \text{ кВт}$  і зробимо висновок, що режим різання виконується (де  $\eta = 0,8$  – ККД верстата).

11. Визначаємо основний (машинний) час обробки паза  $T_{02}$ , хв:

$$T_{02} = \frac{L_{p2} \cdot i \cdot m}{S_M} = \frac{11,5 \cdot 1 \cdot 12}{120} = 0,36 \text{ хв,}$$

де  $L_{p2} = l + l_{ep} + l_{nep} = 9 + 2,5 + 0 = 11,5 \text{ хв}$  – розрахункова довжина обробки паза;

$i = 1$  – кількість ходів інструмента;

$m = 1$  – кількість оброблюваних пазів.

Режими різання при обробки всіх пазів на операції 035 наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Режими різання на операції 035

Різальний інструмент, позначення	Розміри, номер поверхні	t, мм	B, мм	i	S <sub>z</sub> , мм/зуб	S <sub>M</sub> , мм/хв	n, об/хв	V, м/хв	T <sub>o</sub> , хв
Фреза кінцева ø50, Z = 6, BK6M	50x50x15; PI 1	50	15	1	0,05	120	400	62,8	5,25
Фреза кінцева ø18, Z = 4, P6M5	18x9x35 PI 2	9	35	1	0,05	32	160	9,1	0,36
Всього									5,61

## 2.8 Технічне нормування операцій

Норма штучно-калькуляційного часу на операції 015 «Токарна з ЧПК» і 035 «Фрезерна з ЧПК» визначається за формулою:

$$T_{ш-к} = \frac{T_{п-з}}{N_{п}} + T_o + T_d + T_{обс} + T_{пер},$$

де  $T_{п-з}$  – підготовчо-завершальний час (встановлюється на партію заготовок);

$N_{\text{п}}$  – оброблювальна партія заготовок;

$T_o$  – основний час операції;

$T_d$  – допоміжний час операції;

$T_{\text{обс}}$  – час обслуговування робочого місця;

$T_{\text{пер}}$  – час на перерву, відпочинок і особисті потреби.

*Операція 015 «Токарна з ЧПК».*

Час  $T_{\text{п-з}} = 19$  хв [1]; час  $T_o = 7,37$  хв; партія заготовок  $N_{\text{п}} = 58$  шт.

Час  $T_d$  складається із часу встановлення (переустановлення), зняття, закріплення (розкріплення) заготовки  $T_{d1} = 7,4$  хв; часу налагодження різців  $T_{d2} = 3,82$  хв; часу установлення режиму різання та часу на відпрацювання програми  $T_{d3} = 8,6$  хв; часу вимірювання розмірів заготовки після обробки  $T_{d4} = 6,4$  хв. Часи  $T_{d2}$  і  $T_{d3}$  налагоджуються на партію оброблюваних заготовок.

$$T_d = T_{d1} + T_{d2} + T_{d3} + T_{d4} = 7,4 + 3,82 + 8,6 + 6,4 = 26,22 \text{ хв.}$$

Сумарний час  $T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}}$  визначається в процентах від оперативного  $T_{\text{оп}}$  часу

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d = 7,37 + 26,22 = 33,59 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}} = \frac{\alpha\% \cdot T_{\text{оп}}}{100\%} = \frac{7 \cdot 33,59}{100} \cong 2,35 \text{ хв,}$$

де  $\alpha = 7\%$  – процент часу на обслуговування робочого місця, перерву, відпочинок і особисті потреби працюючого [1].

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{19}{58} + 7,37 + 26,22 + 2,35 \cong 36,3 \text{ хв.}$$

*Операція 035 «Фрезерна з ЧПК».*

Час  $T_{\text{п-з}} = 33$  хв – підготовчо-завершальний час для роботи на фрезерних верстатах з ЧПК. Час  $T_o = 5,61$  хв;  $N_{\text{п}} = 58$  шт.

Час  $T_d$  складається із:  $T_{d1} = 5,8$  хв – часу установлення, закріплення, відкріплення, зняття заготовки;  $T_{d2} = 11,8$  хв – часу налагодження фрез на розмір, відпрацювання програми, установлення заданого режиму різання;  $T_{d3} = 3,4$  хв – часу вимірювання розмірів заготовки.

$$T_b = T_{b1} + T_{b2} + T_{b3} + T_{b4} = 5,8 + 11,8 + 3,4 = 21 \text{ хв.}$$

Сумарний час  $T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}} = \alpha \cdot T_{\text{оп}} = \alpha(T_o + T_b) = 8\%(5,61 + 21) = 2,13$  хв,

де  $\alpha = 8\%$  – процент часу на обслуговування робочого місця, перерву, відпочинок і особисті потреби працюючого [1].

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{33}{58} + 5,61 + 21 + 2,13 = 29,3 \text{ хв.}$$

## 2.9 Проектування верстатного пристрою

### 2.9.1 Обґрунтування мети технологічної операції і завдання для проектування.

Верстатний пристрій проектується для операції 035 «Фрезерна з ЧПК». На операції фрезеруються послідовно дванадцять пазів шириною 50 мм, глибиною 15 мм і один паз довжиною 35 мм і радіусом 9 мм (див. креслення Н05.27.144.02).

За вимогами креслення треба виконати розташування дванадцяти пазів по колу під кутом  $30^\circ$  на площині  $\varnothing 540_{g6}$  мм. На зовнішній поверхні  $\varnothing 540_{g6}$  між двох пазів шириною 50 мм треба виконати паз радіусом 9 мм і шириною 18 мм. Точність взаємного розташування пазів і точність розмірів не визиває складність при їх фрезеруванні.

Операція 035 виконується на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі 654Ф3 (N = 15 кВт). Для фрезерування дванадцяти пазів використовується фреза конічна  $\varnothing 50$ , Z = 6 із конічним хвостовиком згідно з ГОСТ 20538–75 (РІ 1). Матеріал різальної частини фрези ВК6М ГОСТ 3882–74. Розміри фрези, кінематика рухів інструмента і стола верстата дозволяють виконати всі вимоги креслення із заданою точністю. Для фрезерування паза радіусом R = 9 мм застосовується фреза  $\varnothing 18$ , Z = 4 (РІ 2) із циліндричним хвостовиком згідно з ГОСТ 17026–71. Матеріал фрези Р6М5 ГОСТ 19265–73. Кожен паз оброблюється за один хід інструмента. Фреза РІ 1 працює за схемою торцевого фрезерування, а фреза РІ 2 – за схемою циліндричного фрезерування, коли торцеві зубці в різанні не приймають (див. рис. 2.8).

Розрахунок режимів різання (дивись параграф 2.7 пояснювальної записки) визначив величини сил різання при фрезерування пазів інструментами РІ 1 та РІ 2. Найбільша сила різання  $P_z = 7928$  Н виникає при фрезеруванні паза інструментом РІ 2. За вихідну силу при розрахунку пристрою беремо складову силу  $P_h = 9514$  Н сили різання.



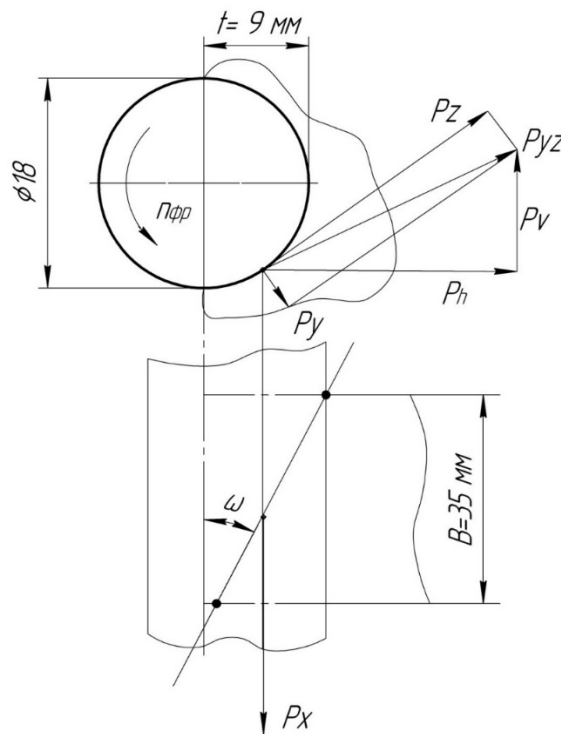


Рисунок 2.8 – Схема сил різання при фрезеруванні паза радіусом 9 мм

Аналіз вихідних даних показав, що для реалізації запропонованих схем фрезерування треба проектувати спеціальний пристрій. При проектуванні верстатного пристрою потрібно вирішити наступні задачі.

1. Забезпечити швидке базування і закріплення заготовки в пристрої.
2. Забезпечити зручне підведення і відведення різальних інструментів при фрезеруванні пазів.
3. Забезпечити постійне силове закріплення заготовки за весь час її оброблення, враховуючи постійну зміну напрямку дії сили різання та її скалярної величини.

#### 2.9.2 Обґрунтування схеми базування і закріплення заготовки.

Для фрезерування пазів 50 мм і глибиною 15 мм треба забезпечити високу жорсткість технологічної системи (ТС). Установчу поверхню (див. рис. 2.9) треба розташувати ближче до оброблювальної поверхні.

За установчу базу беремо поверхню торця  $\text{Ø}540\text{g}6/\text{Ø}460$  мм. Точність розташування пазів на поверхні  $\text{Ø}540\text{g}6$  забезпечить короткий палець – друга технологічна база. Цією базою є отвір  $\text{Ø}410\text{H}7$  – подвійна опорна база. База визначає точність розташування осі центра заготовки відносно положення різальних кромки

інструментів ПІ 1 та ПІ 2. Розташування пазів під кутом  $30^\circ$  досягається точністю позиціонування стола верстата. За паспортними даними верстата моделі 545Ф3 точність становить 0,01 мм (див. табл. 2.7). Досягнуте положення заготовки при базуванні треба фіксувати силами  $Q$ , розташував їх супротив опор установчої бази (див. рис. 2.9).

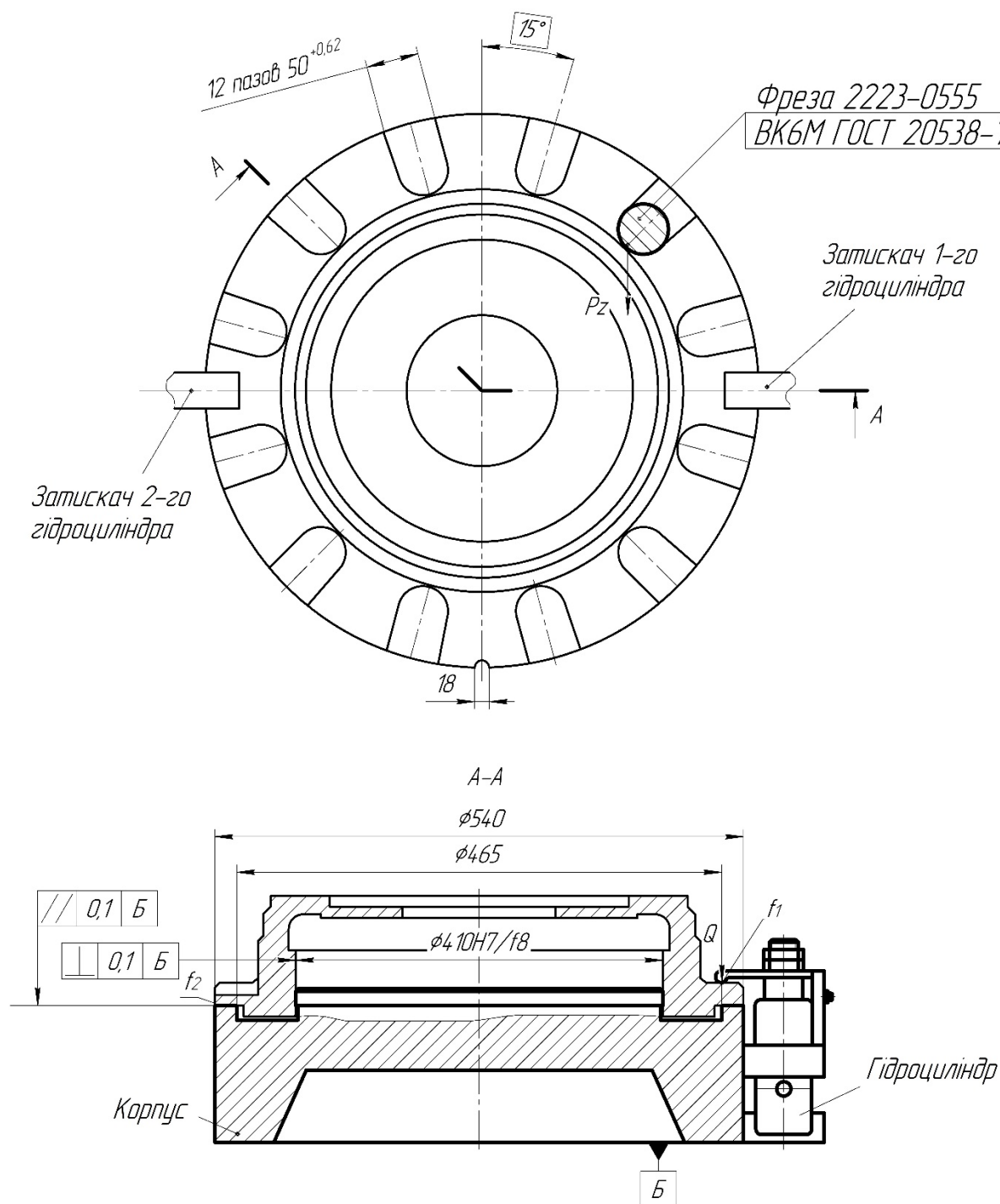


Рисунок 2.9– Схема для розрахунку сили закріплення заготовки

Джерелом сили закріплення  $Q$  приймаємо два гідравлічних циліндра двосторонньої дії, зроблених згідно з ГОСТ 19899–74, при номінальному тиску в системі гідравлічної мережі 10 МПа.

Розрахунок затискного механізму виконується за умовою рівноваги силових факторів, які діють на заготовку при її обробленні (див. рис. 7.2). Зрушенню заготовки під дією складової сили різання  $P_h$  протидіють сили тертя, які виникають в місцях контакту заготовки із опорами та затискним механізмом. Розрахунок виконується за формулою [5, т. 8, с. 80]:

$$Q_o = \frac{K \cdot P_h}{f_1 + f_2} = \frac{3,7 \cdot 9,6}{0,16 + 0,16} = 111 \text{ кН},$$

де  $P_h = 9514 \approx 9600 \text{ Н}$  – складова сили різання при фрезеруванні;

$Q_o = 2Q$  – сила закріплення, яка прикладена в двох місцях заготовки;

$K$  – коефіцієнт запасу, потрібний для надійного закріплення заготовки [5, с.85];

$f_1 = f_2 = 0,16$  – коефіцієнти тертя, які виникли в місцях контакту оброблених поверхонь заготовки, відповідно із кільцевою опорою та затискними елементами пристрою [5, т.10, с.85].

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 3,7,$$

$K_0 = 1,5$  – коефіцієнт гарантованого запасу [5, с. 85];

$K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблювальних поверхнях;

$K_2 = 1,7$  – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання через затуплення різального інструмента [5, с. 85];

$K_3 = 1,2$  – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання із-за виникнення переривчастого процесу різання фрезою (торцеве фрезерування) [5, т. 9, с. 85];

$K_4 = 1,0$  – коефіцієнт, який враховує постійність сили закріплення в затискному механізмі (використовування гідравлічних циліндрів подвійної дії) [5, с. 85];

$K_5 = 1,0$  – коефіцієнт, який враховує ергономіку затискного механізму;

$K_6 = 1,0$  – коефіцієнт, який враховує наявність моментів, що прямує зрушити заготовку.

Пропонується кріпити заготовку в двох місцях двома затискачами автономних гідравлічних циліндрів двосторонньої дії. Зусилля  $Q$ , яке забезпечує один гідравлічний циліндр, визначається із умови

$$Q = \frac{Q_0}{2} = \frac{111}{2} = 55,5 \text{ кН.}$$

Діаметр циліндра  $D$  у разі подачі мастила в поршневу порожнину визначається за формулою [5, т. 22, с. 92]:

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{Q}{p\eta}} = 1,13 \sqrt{\frac{55500}{10 \cdot 0,9}} = 89 \text{ мм,}$$

де  $p = 10$  МПа – номінальний тиск мастила в порожнинах гідроциліндра;

$\eta = 0,9$  – механічний ККД, який приймається при розрахунках гідравлічних циліндрів двосторонньої дії [5, т. 22, с. 92].

Діаметр циліндра  $D$  у разі подачі мастила в штокову порожнину визначається за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot Q}{p \cdot \eta} + d^2} = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 55500}{10 \cdot 0,9} + 20^2} = 91 \text{ мм,}$$

де  $d = 20$  мм – діаметр штока.

При закріпленні заготовки мастило знаходиться у штоковій порожнині гідроциліндра, тому беремо діаметр поршню  $D = 100$  мм із нормального ряду гідравлічних циліндрів [5]. Розрахований діаметр приблизно співпадає із нормальним рядом діаметрів поршнів, тому перерахунок сили закріплення  $Q$  і коефіцієнта гарантованого запасу  $K$  не виконуємо. Приймаємо:  $D = 100$  мм,  $d = 20$  мм,  $p = 10$  МПа,  $K = 3,7$ ,  $h = 32$  мм (хід поршню). Конструкція пристрою наведена на кресленні (див. додаток Д).

### 2.9.3 Розрахунок точності елементів пристрою.

Точність ширини  $50(+0,62;0)$  мм і глибини  $15 \pm 0,26$  мм паза залежить від точності розмірів різальної частини фрези. Точність розташування пазів під потрібним кутом залежить від точності дискретного переміщення стола верстата у напрямку подачі (0,01 мм). Паралельне розташування площини днища паза відносно установчої

поверхні (бази) залежить від паралельного розташування поверхні установчої бази відносно площини підвалини пристрою. Цей параметр визначається за формулою:

$$T_{\text{пр}} \leq T_{\text{д}} - K \sqrt{(K_1 \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{и}}^2 + \varepsilon_{\text{пер}}^2 + \varepsilon_{\text{уст}}^2 + \varepsilon_{\text{обр}}^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2},$$

де  $T_{\text{пр}}$  – допуск паралельності розташування поверхні установчої бази відносно площини підвалини пристрою;

$T_{\text{д}} = 0,6 \cdot T_{15} = 0,2 \cdot 520 = 312$  мкм – допуск розташування днища паза (допуск глибини паза) відносно установчої бази  $\varnothing 540g6/\varnothing 460$ ;

$K = 1,2$  – коефіцієнт, який враховує можливе відхилення окремих складових від закону нормального розподілення;

$K_1 = 1,2$  – коефіцієнт корекції;

$\varepsilon_6 = 0$  – похибка базування (ВБ і ТБ суміщені);

$\varepsilon_3 = 0$  – похибка закріплення заготовки (сили закріплення не змінюють положення глибини паза);

$\varepsilon_{\text{и}} = 0$  – похибка зносу установчих елементів (рівномірний знос);

$\varepsilon_{\text{пер}} = 100$  мкм – похибка перекосу інструмента;

$\varepsilon_{\text{уст}} = 50$  мкм – похибка установлення пристрою на столі верстата;

$\varepsilon_{\text{обр}} = K_2 \cdot \omega = 0,6 \cdot 110 = 66$  мкм – похибка обробки [1, с. 23];

$\omega = 110$  мкм (IT11) – середня економічна точність обробки при фрезерування пазів [2, 3];

$\varepsilon_{\text{поз}} = 50$  мкм – похибка позиціювання шпиндельного вузла верстата [3].

$$T_{\text{пр}} \leq 312 - 1, \sqrt{(1,2 \cdot 0)^2 + 0^2 + 0^2 + 100^2 + 50^2 + 66^2 + 50^2} = 145 \text{ мкм.}$$

Приймаємо  $T_{\text{пр}} = 0,1$  мм і занесемо це значення в технічні вимоги креслення.

#### 2.9.4 Опис конструкції і роботи пристрою.

Конструкція пристрою складається із корпусу 2, на якому в діаметральному напрямку розташовані два гідроциліндра 1 із затискачами. Корпус 2 має циліндричний палець  $\varnothing 410f8$ , на який установлюється (базується) заготовка з зазором 68 мкм. Кільцева площинна поверхня  $\varnothing 540/\varnothing 465$  є установчою базою на яку встановлюється заготовка при обробки. Наведені поверхні є шліфованими, до них висунуті технічні

вимоги їх взаємного розташування (див. креслення пристрою додатку Д). Корпус 2 має спеціальні місця для кріплення гідравлічних циліндрів і напрямних 4, які забезпечують поворот затискачів 3 на кут  $90^\circ$  при закріпленні (розкріпленні) заготовки. Останні забезпечують зручне встановлення та зняття заготовки із пальця корпусу 2. Напрямні 4 кріпляться до корпусу 2 гвинтами 12.

Робота пристрою відбувається наступним чином. Заготовка устанавлюється на палець  $\varnothing 410f8$  і кільцеву поверхню  $\varnothing 540/\varnothing 465$ . Далі в штокову порожнину гідравлічних циліндрів поступає мастило під тиском 10 МПа. Затискачі 3 із верхнього положення в межах ходу штока 32 мм зміщуються до низу і одночасно обертаються навколо своєї осі на кут  $90^\circ$ . Для цього передбачена напрямна 4, втулка 6 із пазом та гвинт 5. Після дотику затискачів 3 з поверхнею заготовки відбувається оброблення пазів. Потрібний тиск мастила в порожнинах гідроциліндрів підтримується роботою насосної станції. По закінченню обробки заготовки мастило поступає в без штокову порожнину гідравлічних циліндрів, а мастило із штокової порожнини зливається в бак насосної станції. Далі шток із затискачем 3 підіймається до верху, одночасно у зворотному напрямку обертається на кут  $90^\circ$ , заготовка розкріплюється і видаляється із пристрою. Після встановлення нової заготовки цикл роботи пристрою повторюється.

Робота з пристроєм не займає багато часу, а його обслуговування не потребує високої кваліфікації верстатника.

## **2.10 Висновок**

1. Запропонований новий варіант технологічного процесу виготовлення секції.
2. Вибраний спосіб виготовлення заготовки секції – поковка на гідравлічному пресі, розраховані припуски і допуски на отвір діаметром 190H7, вибрані бази для обробки заготовки на операціях 015 Токарна з ЧПК» і 035 «Фрезерна з ЧПК», запропоновані моделі верстатів на всі технологічні операції, вибрані верстатні пристрої, різальний і вимірювальний інструмент.
3. Спроектований пристрій для фрезерування дванадцяти пазів на торцевій поверхні секції та одного паза на циліндричній.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ОЗДОБЛЮВАЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ПЛОЩИННОЇ ПОВЕРХНІ СЕКЦІЇ

#### **3.1 Розроблення структури оздоблювальної операції для обробки площинної поверхні секції**

На операції 050 «Токарно-карусельна» послідовно оброблюється дві площинні поверхні: спочатку площина розміром  $\text{Ø}330/\text{Ø}190\text{H}7$ , а потім площина  $\text{Ø}460/\text{Ø}410\text{H}7$ . На першій поверхні треба забезпечити шорсткість  $R_a = 3,2$  мкм, на другій поверхні – шорсткість  $R_a = 0,63$  мкм. Також на цій поверхні треба витримати технічні умови креслення: радіальне биття в межах  $0,03$  мкм, допуск площинності не більше  $0,02$  мм. Зазначені низька шорсткість поверхні та її профіль форми потрібні для надійного ущільнювання цієї поверхні із сполученою поверхнею іншої секції при їх складанні у виріб. В базовому технологічному процесі для обробки поверхні  $\text{Ø}460/\text{Ø}410\text{H}7$  застосовується операція тонкого шліфування абразивним кругом на відповідних режимах різання. Існуючий на підприємстві технологічний перехід операції не дозволяє забезпечити потрібні параметри якості поверхні, як окремої заготовки, та і її партії. Для виправлення цього недоліку пропонується замість тонкого шліфування ввести в структуру операції обробку площинної поверхні методом суперфінішування. Обробку поверхні пропонується виконувати абразивними брусками за способом подвійної осциляції двома наступними схемами різання [23, 24].

*Ударно-циклічна схема різання.* За цією схемою обробку виконують із застосуванням радіальних коливань абразивного бруска та періодичним виникненням зазору між поверхнями бруска і деталі [25, 40].

Поверхні  $\text{Ø}460/\text{Ø}410\text{H}7$  має форму кільця шириною  $25$  мм. Для її обробки треба застосувати довжину бруска більше ширини кільця (наприклад,  $27$  мм). Кінематичні рухи заготовки (обертання), перекриття ширини кільця довжиною бруска дозволяють оброблювати кільцеву площинну поверхню без осьових коливань бруска та його зворотно-поступального переміщення уздовж ширини заготовки. Таким чином,

застосування наведених рухів заготовки і бруска дозволять раціонально виконати обробку поверхні за ударно-циклічною схемою різання.

Застосування ударно-циклічної схеми різання передбачає постійне оновлення різальних зернин бруска за час обробки. Обробка виконується із постійним видаленням металу, що дозволяє регулювати продуктивність процесу і впливати на розмір заготовки (дивись додаток Д, налагодження на операцію 055 «Токарно-карусельна»).

*Циклічна схема різання.* За цією схемою обробка поверхні виконується із постійним контактом бруска з заготовкою (зазор між поверхнями брусків і заготовки  $\delta = 0$ ). Кінематичні рухи бруска передбачають радіальні коливання перпендикулярно до поверхні заготовки при постійному зазорі  $\delta = 0$ . Обробка виконується з періодичним змінюванням сили притиснення за час обробки, що дозволяє в режимі «полірування» зменшити шорсткість до величини згідно технічних вимог креслення, а також частково виправити похибку профілю форми поверхні (площинність) [25, 35].

За даними джерела [30, 32] час оброблення заготовки ударно-циклічною схемою різання становить 80–85% від основного часу технологічного переходу, а час оброблення поверхні заготовки циклічною схемою різання – 20–15%.

Таким чином, структура технологічного переходу для обробки площинної поверхні  $\text{Ø}460/\text{Ø}410\text{H}7$  буде складатися із двох схем обробки абразивними брусками – ударно-циклічної та циклічної схем різання. В структурі операції 055 «Токарно-карусельна» наведені схеми будуть виконуватися послідовно (технологічні переходи 2 та 3). За час їх виконання забезпечиться шорсткість площинної поверхні в межах  $R_a = 0,4 - 0,8$  мкм і профіль поверхні (площинність) в межах 10 – 20 мкм.

### **3.2 Обробка площинної поверхні способом подвійної осциляції брусків**

Обробка металів абразивними брусками характеризується змінюванням різальної спроможності інструмента [23]. Обробка площинних поверхонь заготовок способом подвійної осциляції брусків характеризується безперервним зниженням видалення металу за час обробки, що пов'язано з кінематичними рухами різального інструмента. В кінематику зазначеної схеми закладено розривання контакту бруска з заготовкою



за період її обробки [23 – 25]. Наявність ударного контакту за період одного радіального коливання інструментальної головки дозволяє оновлювати різальну спроможність абразивних зернин бруска, видаляти шлам із зони обробки. За такою кінематикою виникає можливість змінювати час контакту бруска з заготовкою у разі виникнення зносу абразивних виступів інструмента та збільшувати фактичну площину контактуючих поверхонь (див. рис. 3.1, а). Обробка поверхонь за таким способом передбачає періодичну появу зазору  $\delta$ , що дозволяє підтримувати постійне видалення металу за час операції. У випадку, коли треба зменшити величину шорсткості в межах відповідного класу чистоти поверхні та зменшити похибку форми (наприклад, допуск площинності), встановлюють зазор  $\delta = 0$ , а радіальні коливання  $\omega_p$  збільшують у порівнянні із попередньою схемою обробки (див. рис. 3.1, б).

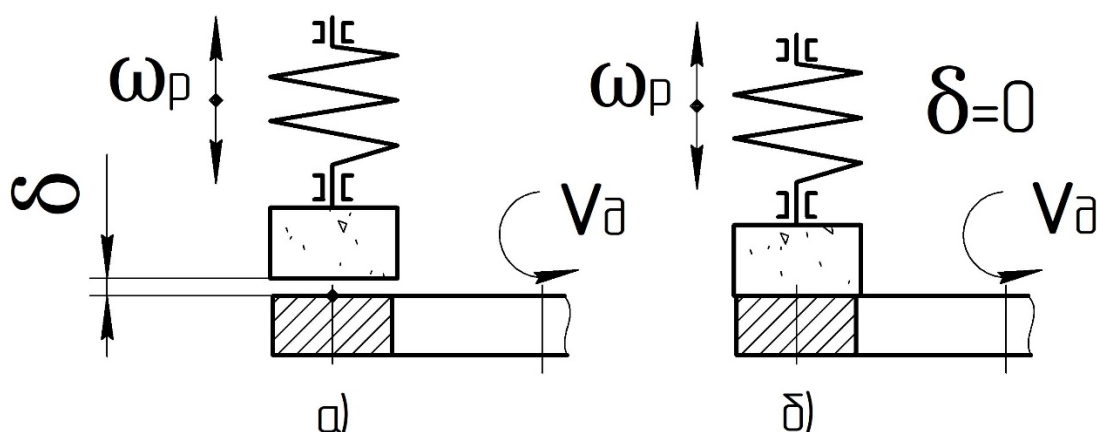


Рисунок 3.1 – Схема способу подвійної осциляції брусків: а) ударно-циклічна схема різання; б) циклічна схема різання

Час контакту бруска з заготовкою (див. рис. 3.1, а) за ударно-циклічною схемою різання визначається технологічними параметрами процесу різання і записувався наступною формулою [24]:

$$t_k = \frac{2}{\omega_p} \left[ \pi - \arccos \left( 1 - \frac{2\delta}{h} \right) \right], \quad (3.1)$$

де  $t_k$  – час контакту бруска з заготовкою за період одного радіального коливання інструменту, с;

$\omega_p$  – власна кругова частота радіальних коливань бруска,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\delta$  – зазор між бруском і поверхнею заготовки, мм;

$h$  – подвійна амплітуда (хід) радіальних коливань бруска при відсутності обробленої поверхні і  $h > 2\delta$ , мм.

Наявність радіальних коливань  $\omega_p$  бруска, дозволяє йому періодично виходити із контакту з поверхнею заготовки на величину зазору  $\delta$ , в який поступає змащувально-охолоджувальна рідина (ЗОР), яка вимиває шлам із зони різання.

Ударний контакт бруска з поверхнею заготовки оновлює різальні кромки зернин і спричинює їх проникненню в метал в межах висоти мікронерівності поверхневого шару заготовки. Для раціонального використання робочої частини бруска пропонується змінювати частоту радіальних коливань  $\omega_p$  та зазор  $\delta$  за час обробки поверхні.

Таким чином, виникає можливість встановлювати оптимальний час контакту робочої поверхні бруску з обробленою заготовкою. Різна довжина контакту бруска з поверхнею заготовки визначає межу самозаточування різальних кромок зернин. Також різальна спроможність зернин бруска залежить від фізико-механічних властивостей обробленого матеріалу заготовки та характеристики абразивного інструменту.

Для зниження висоти мікронерівності (див. рис. 3.1, б) та похибки форми профілю оброблюваної поверхні (площинність поверхні) зазор  $\delta$  вибирають ( $\delta = 0$ ). Абразивний брусок у пульсуючому режимі контактує з поверхнею і в місцях збільшення форми профіля поверхні виникає збільшення сили контакту, що призводить до збільшенню видаленого металу. За даними джерел [23, 24] оптимальний час обробки сталевих поверхонь за циклічною схемою різання триває не більше 50 с. Подальша обробка за цією схемою може призвести до появи задирок на оброблюваної поверхні, а робоча поверхня абразивного бруска буде «засалюватися».

Таким чином, обробка площинної поверхні секції за двома схемами різання дозволить забезпечити технічні вимоги креслення.

### 3.3 Вибір моделі верстата для оздоблювальної обробки площини деталі

Обробка двох поверхонь секції виконується на токарно-карусельному верстаті моделі 1512. Вибір цієї моделі пов'язаний із габаритами заготовки ( $\text{Ø}550 \times 116 \text{ мм}$ ). В довідковій літературі відсутні моделі верстатів для суперфінішування заготовок таких габаритів і маси. Тому, для виконання технологічних переходів 2 та 3 був запропонований існуючий на підприємстві токарно-карусельний верстат моделі 1512. Конструкція верстата має один стояк, на якому розташований вертикальний (револьверний) супорт, та обертовий стіл (планшайба) на якому установлюється заготовки. Основна технічна характеристика верстата наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика верстата моделі 1512

Параметри	Значення
Найбільші параметри оброблювальної поверхні, мм:	
діаметр	1250
висота	1000
маса, кг	4000
Найбільше переміщення вертикального (револьверного) супорта, мм:	
горизонтальне	775
вертикальне	700
Діаметр планшайби, мм	1120
Частота обертання планшайби, об/хв	5–250
Подача супорта вертикальна і горизонтальна, мм/хв	5–1800
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	30
Габаритні розміри, мм:	
довжина	2875
ширина	2660
висота	4100
Маса верстата, кг	16500

Аналіз основних параметрів технічної характеристики рекомендованого верстата показав, що вони можуть забезпечити чисельні дані кінематичних рухів заготовки і абразивного бруска в потрібних межах для визначення оптимального режиму обробки заготовки.

Вертикальний супорт верстата може рухатися у вертикальному або горизонтальному напрямках відповідно осі обертання стола (планшайби) із заготовкою. На вертикальному супорті пропонується закріпити пристрій для обробки

способом подвійної осциляції брусків [22]. Радіальні коливальні рухи абразивного бруска, які мають напрямок перпендикулярно по кільцевій поверхні заготовки, будуть виконуватися кінематичною схемою запропонованого пристрою. Обертання заготовки з потрібною частотою будуть виконуватися планшайбою (круговим столом) верстата.

Таким чином, наведені технічні параметри верстата дозволять виконати обробку площинної поверхні заготовки абразивними брусками за ударно-циклічною та циклочною схемами різання.

### **3.4 Пристрій для обробки площинної поверхні секції**

Відомі звичайні інструментальні головки [23] для суперфінішування, які призначені для забезпечення шорсткості поверхонь за критерієм  $R_a = 0,4 - 0,8$  мкм. Існуючі інструментальні головки працюють у постійному контакті абразивного бруска з оброблюваною поверхнею. При обробці площини заготовки за такою кінематичною схемою рухів інструменту, виникає «засалювання» абразивного бруска і закінчення процесу різання. В процесі обробки відпрацьований шлам застається в зоні контакту інструменту з поверхнею заготовки, що призводить до появи негативного явища – задирок на оброблюваній поверхні заготовки. Для усунення наведеного недоліку пропонується спеціальний пристрій, якій працює за способом подвійної осциляції брусків і реалізує ударно-циклічну та циклічну схеми різання (див. рис. 3.2). В склад пристрою входить вібратор радіальних коливань бруска та інструментальна головка. Пристрій безпосередньо розташовується на вертикальному супорті верстата і при обробці площинної поверхні секції застається нерухомим. Для подачі масла під тиском в порожнини пристрою передбачена насосна станція, яка розташована біля стояка верстата.

Пристрій складається із вібратора 1, який з'єднаний із штоком 5, плитою 10, держакком бруска 11, в який вставлений абразивний брусок 16. Вібратор 1 разом із проміжним кільцем 2 закріплений на корпусу 3 в якому розташовані золотник 14, регулююча муфта 12. Вихідний кінець золотника 14, який розташований в корпусі 3, входить в паз регулюючої муфти 12, а остання через вісь з'єднана з плитою 10.

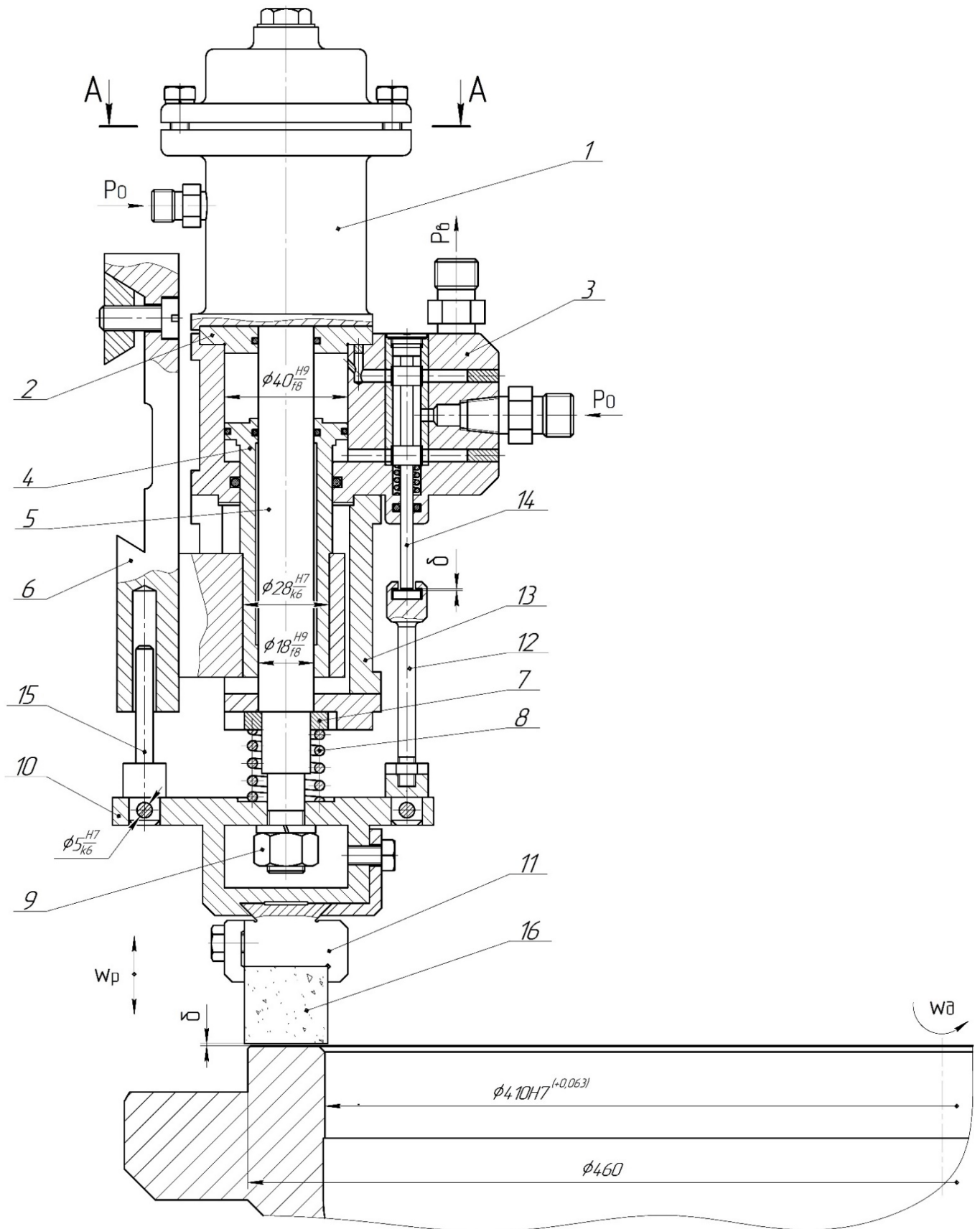


Рисунок 3.2 – Пристрій для обробки площини заготовки способом подвійної осциляції брусків

Корпус 3 установлений на шток-поршні 4, запресованого у напрямку 6. Остання через ластівчин хвіст з'єднується з вертикальним супортом верстата (на рисунку не позначений). Уздовж осі внутрішньої поверхні шток-поршня 4 вільно переміщується шток 5 вібратора 1, який з'єднаний з шайбою 7, пружиною 8, плитою 10 і держакон бруска 11, абразивним бруском 16.

Перед обробкою заготовки пристрій потребує налагодження. Для цього обертанням регулюючої муфти 12 встановлюється розрахований за режимами різання зазор  $\delta$ , який дорівнює двом зазорам  $\delta$  між робочою поверхнею бруска 16 і площинною поверхнею заготовки (секції). Для виникнення радіальних коливань з частотою  $\omega_p$  в мастильні (верхні) канали ротора вібратора 1 подається масло, яке під тиском  $P_0 = 2$  МПа тисне на кульки (див. рис. 3.3).

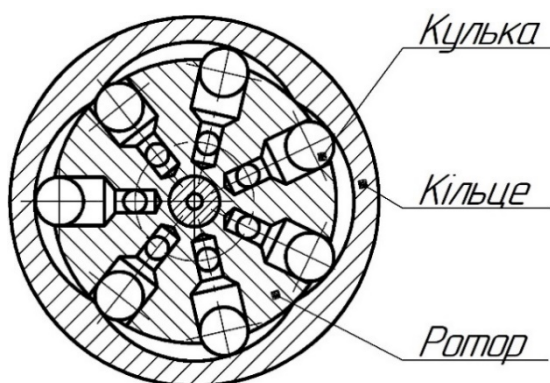


Рисунок 3.3 – Переріз А-А верхньої частини вібратора

За цією умовою кульки у радіальному напрямку зміщуються по каналах ротора, вступають в контакт з поверхнею кільця і починають скочуватися по її поверхні. Ротор вібратора починає обертатися, а мастило, яке поступає в його нижні канали, починає поперемінно поступати в штокову і без штокову порожнини штока 5. Шток 5 починає виконувати коливальні рухи з частотою  $\omega_p$ , які регулюються тиском і об'ємом мастила [26].

За час обробки обидва зазори  $\delta$  між поверхнями брусків і заготовки збільшуються, що спричинене зносом поверхонь брусків і зменшенням розміру заготовки. Для постійної підтримки вихідного зазору  $\delta$ , в верхню і нижню порожнини золотника 14

поступає мастило із однаковим тиском. У разі збільшення зазору  $\delta$  золотник 14 зміститься вниз і збільшить тиск в нижньої його порожнині. Вся рухома частина пристрою (проміжна розрізна втулка 2, корпус 3, шайба 7, пружина 8, плита 10, держак бруска 11, брусок 16) зміститься вниз і вихідні зазори  $\delta$  в муфті 12 та між поверхнями бруска 16 і заготовки знову будуть встановлені. Робота золотника за час обробки заготовки відбувається безперервно (в автоматичному режимі). Такий цикл роботи пристрою дозволяє підтримувати постійними всі параметри режиму різання при обробки площинної поверхні секції і забезпечити умови стабільної її шорсткості.

Для спроектованого пристрою треба розрахувати величину потужності при обробки абразивним бруском на визначених режимах різання [14].

Сила притиснення  $P_{\text{пр}}$  (Н) бруска до поверхні заготовки визначиться за формулою

$$P_{\text{пр}} = p \cdot F \cdot k \cdot Z = 0,25 \cdot 675 \cdot 1 \cdot 1 \cong 169 \text{ Н},$$

де  $p = 0,25$  МПа – тиск абразивного бруска на поверхню заготовки при його контакту за період одного радіального колювання, коли зазор  $\delta=0$ ;

$F = 25 \cdot 27 = 675 \text{ мм}^2$  – площа робочої поверхні бруска (25 мм – ширина бруска, 27 мм – довжина бруска);

$Z = 1$  – кількість інструментальних головок у пристрої;

$k = 1$  – кількість абразивних брусків в держаку інструменту.

Сила різання визначиться за формулою

$$P_p = P_{\text{пр}} \cdot f = 169 \cdot 0,35 \cong 60 \text{ Н},$$

де  $f = 0,35$  – коефіцієнт різання при суперфінішуванні заготовки абразивними брусками [12].

Крутний момент  $M$  (Н·м) при обробки заготовки, яка установа на жорсткій оправки з передачею крутного моменту кулаками токарного патрона, визначається за формулою

$$M = \frac{P_p \cdot D_c}{2} = \frac{60 \cdot 0,435}{2} \cong 13,1 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $D_c = \frac{0,46+0,41}{2} = 0,435 \text{ м}$  – середній діаметр оброблюваної площинної поверхні секції.

Потужність  $N_e$  (кВт), яка витрачається при різанні абразивним інструментом, визначається за формулою

$$N_e = \frac{M \cdot n}{9750} = \frac{13,1 \cdot 30}{9750} \cong 0,04 \text{ кВт},$$

де  $n = 30 \text{ хв}^{-1}$  – кількість обертів заготовки.

### 3.5 Вибір режимів різання

Вибір режиму різання починається із вибору характеристики і розмірів бруска. На вибір характеристики бруска впливають наступні фактори: матеріал і твердість поверхневого шару заготовки, вихідна шорсткість поверхні заготовки, потрібна шорсткість поверхні заготовки згідно технічних вимог її креслення.

За даними джерел [30, 32] для легованих збільшеним процентом хрому сталей марок 08X13, 20X13 рекомендуються абразивні бруски із карбїду кремнію зеленого, марок 63С і 64С та керамічною в'язкою (К).

Характеристика абразивного бруска вибирається залежно від вихідної та кінцевої (потрібної) шорсткості поверхні [14, 30]. Для отримання шорсткості площинної поверхні  $R_a = 0,4 - 0,8$  мкм рекомендується застосовувати зернистість абразивних брусків в межах 63 – 40 мкм.

Твердість абразивного бруска вибирається від матеріалу, твердості і шорсткості заготовки [14, 32]. При обробки абразивними брусками сталених заготовок можна керуватися наступним правилом. Чим більше твердість обробленого матеріалу, тим менше твердість абразивного бруска і навпаки. За даними джерела [14] для незагартованої жаропрочної конструкційної легованої сталі 20X13 ГОСТ 5632–72 із вихідної шорсткістю поверхні в межах  $R_a = 1,25 - 2,5$  мкм рекомендується твердість бруска С1 – СМ2.

Найбільш розповсюджені абразивні бруски на керамічній (К) і бакелітової (Б) в'язках. Джерела [30, 32] рекомендують для незагартованих конструкційних легованих сталей застосовувати керамічну в'язку, яка має високу міцність і жорсткість, хімічну і водяну стійкість, може працювати із різним хімічним складом



ЗОР і без охолодження. Керамічна в'язка широко застосовується у виробництві абразивного інструменту із різною зернистістю та твердістю.

Вибір розмірів абразивного бруска при суперфінішуванні залежить від наступних факторів [35]. Якщо робоча ширина бруска більше довжини хвилі в поперечному перетині оброблюваної поверхні заготовки, то вихідна форма плоскості (площинність) видаляється. За даними джерела [14] рекомендується перекривати ширину оброблювального кільця заготовки бруском довжиною більше 25 мм. При використуванні більшої ширини брусків, зменшується доступ ЗОР в зону різання і утруднюється видалення шламу, що знижує якість обробленої поверхні [20]. Для оброблення великих площин заготовки застосовують два-чотири бруски, які закріплюються в одному держаку і розташовуються у шаховому порядку [29].

Для обробки площинної поверхні розміром  $\varnothing 460 \times \varnothing 410$  мм оптимальною шириною бруска буде 27 мм, кількість брусків в держаку пристрою – 1. Довжина бруска вибирається залежно від ширини кільцевої поверхні і становить 27 мм. Умовне позначення розмірів двох брусків: Б 25x27 ГОСТ 2424–88. Із наведеної інформації, оптимальною характеристикою бруска буде: 63С5С1К6 ГОСТ 2456–82.

В джерелах [20, 21, 22] наведена класифікація матеріалів за фізико-механічними характеристиками, які оброблюються на оздоблювальних операціях абразивними брусками. Класифікація складається із семи груп металів, властивості яких у кожній групі приблизно однакові. Метали-представники всіх груп були оброблені способом подвійної осциляції брусків [21, 22]. Експериментами встановлено сім основних діапазонів часу контакту  $t_k$ , які відповідали визначеним групам матеріалів.

Сталь 20Х13 ГОСТ 5632–72 входить у групу М2 (підгрупа М22) де металом-представником є сталь 08Х13 ГОСТ 5632–72. В цю підгрупу об'єднані сталі із подібними структурами, одного рівня твердості, що виникають в поверхневому шарі заготовки після обробки їх попередньою операцією – шліфуванням або тонким точінням [19].

В джерелах [20, 23, 33] був встановлений діапазон, в якому змінювався час контакту  $t_k$ , і який відповідав максимальній швидкості видалення металу  $Q$  ( $\text{мм}^3/\text{с}$ ). Змінювання продуктивності із достатньою точністю відповідає криволінійному

зв'язку, який можна описати рівнянням параболи  $n$ -го порядку. Розглянемо випадок, коли рівняння регресії  $Q = f(t_k)$  має вигляд параболи другого порядку [31]:

$$\overline{Q_{tk}} = a_0 + a_1 t_k + a_2 t_k^2, \quad (3.2)$$

де  $\overline{Q_{tk}}$  – частинні середні значення  $Q$ , які відповідають значенням  $t_k$ ;

$a_0, a_1, a_2$  – постійні коефіцієнти.

Рішенням рівняння (3.2) за методикою [31] розраховані коефіцієнти  $a_0, a_1, a_2$  і побудована крива теоретичної регресії  $Q = f(t_k)$ , яка добре відповідає емпіричній.

Для сталі 20X13 залежність продуктивності  $Q$  від часу контакту  $t_k$  наведена на рисунку 3.6 і записується наступним рівнянням:

$$Q = -0,236 + 4,056t_k - 1,711t_k^2.$$

Оптимальний час контакту для сталі 20X13 становить  $t_k = 2,5$  с і відповідає найбільшій продуктивності  $Q = 2,5$  мм<sup>3</sup>/с (див. рис. 3.4).

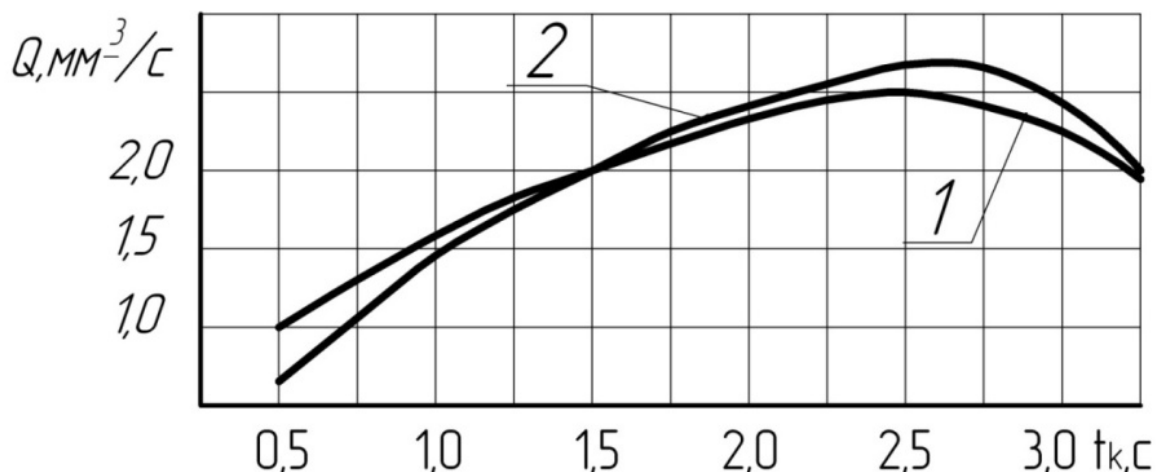


Рисунок 3.4 – Визначення продуктивності  $Q$  від часу контакту  $t_k$ : 1 – сталь 20X13; 2 – сталь 08X13 (сталь-представник підгрупи М22)

Таким чином, рішення рівняння (3.1) зводиться до підбору оптимального співвідношення факторів  $\omega_p, \delta, b$  визначеного діапазону часу  $t_k$ .

Пошук оптимального рішення рівняння (3.1) реалізовувався наступним чином. На комп'ютері задавалася кількість іспитів  $N = 500000$ , в яких генерувалися випадкові рішення. Потім перевіркою допущеності цих рішень визначалася функція мети. За

всіма отриманими результатами обирався максимальний, який приймався за остаточне рішення [31].

Експериментами встановлені оптимальні значення параметрів  $\omega_p$ ,  $\delta$ ,  $b$ , які прийняті за режим різання (ударно-циклічна та циклїчна схеми різання) при обробки заготовки із сталі 20X13 способом подвійної осциляції брусків (див. табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Режими різання для обробки заготовок із сталі 20X13 способом подвійної осциляції брусків за ударно-циклічною та циклїчною схемами різання

Показники способу обробки	Ударно-циклїчна схема різання	Циклїчна схема різання
Швидкість обертів заготовки $V_z$ , м/с	0,68	1,14
Подвійна амплїтуда радіальних коливань брусків $b$ , мм	1,0	1,8
Зазор $\delta$ , мм	0,75	0
Частота радіальних коливань брусків $\omega_p$ , $c^{-1}$	20	20
Час контакту брусків із заготовкою $t_k$ , с	2,3 – 2,5	Постійний
Тиск брусків $p_o$ , МПа	0,32	0,2
Продуктивність обробки $Q$ (max), $mm^3/c$	2,5	0,02
Шорсткість поверхні $R_a$ , мкм	0,36	0,24
Припуск (на діаметр), мм	0,02	0,002
Основний час технологїчних переходів операції, $T_o$ , хв	5,4	0,8
Склад змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР)	90% гасу, 7% мастила, 3% олеїнової кислоти	

### 3.6 Висновок

1 Розроблена структура оздоблювальної операції 050 «Токарно-карусельна».

2 Вибраний спосіб подвійної осциляції брусків і дві кінематичні схеми різання – ударно-циклїчна та циклїчна для реалізації однорїдної шорсткості площинної поверхні секції за критерієм  $R_a = 0,2 - 0,63$  мкм.

3 Запропонована модель верстата моделі 1512, розроблений пристрій для оброблення площинної поверхні способом подвійної осциляції брусків та надані рекомендації оптимальних режимів різання для обробки поверхні секції за ударно-циклїчною та циклїчною схемами різання.

## ВИСНОВКИ

1 Виконаний аналіз службового призначення насоса ЦН150–110 і секції Н05.27.144.02, описані конструктивні особистості і умови експлуатації секції.

2 Зроблений аналіз технічних вимог до виготовлення деталі, уточнені і скоректовані точність розмірів, шорсткості поверхонь, взаємне розташування поверхонь секції.

3 Виконаний аналіз технологічності конструкції секції за якісними та кількісними показниками. В цілому конструкція секції, окрім окремих її елементів, є технологічною.

4 За заданому річному об'єму випуску виробів визначений тип виробництва – середньосерійний, а також форма його організації – групова.

5 Зроблений аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення секції. Аналізом встановлено, що окремі технологічні операції потребують удосконалення, щодо забезпечення на них потрібної шорсткості поверхонь та раціонального базування заготовок для виключення похибок обробки. Оздоблювальна операція, яка призначена для забезпечення вимог креслення по шорсткості та точності форми площини поверхні, потребує удосконалення її структури.

6 Запропонований удосконалений технологічний процес виготовлення секції для умов середньосерійного виробництва.

7 За економічними показниками визначений спосіб виготовлення заготовки секції – поковка на гідравлічному пресі із використанням відкритих штампів. Розроблені технічні вимоги до її виготовлення.

8 Розрахунково-аналітичним методом розраховані припуски і допуски на отвір діаметром 190Н7, обрані схеми базування і закріплення заготовки на операції 015 «Токарна з ЧПК» і 035 «Фрезерна з ЧПК». Для наведених операцій запропоновані моделі верстатів 1А512МФ3 та 654Ф3, верстатні пристрої, різальний і вимірювальний інструменти, розраховані режими різання та норми часу.

9 На операцію 035 «Фрезерна з ЧПК» спроектований верстатний пристрій для фрезерування дванадцяти однакових пазів і одного окремого паза розташованого на циліндричній частині поверхні.

10 Для виконання вимог креслення по забезпеченню шорсткості площинної поверхні розміром  $\text{Ø}460/\text{Ø}410\text{H}7$  за критерієм  $R_a = 0,63$  мкм та допуску форми плоскості в межах 0,02 мм, запропонована нова структура оздоблювальної операції 050 «Токарно-карусельна», яка виконується на токарно-карусельному верстаті моделі 1512. В структуру операції введений спосіб обробки поверхні абразивним інструментом – спосіб подвійної осциляції брусків, якій працює за ударно-циклічною та циклічною схемами різання. Для реалізації наведеного способу обробки спроектований спеціальний пристрій – інструментальна головка та дані рекомендації по вибору режиму різання абразивним бруском площинної поверхні секції.

11 Вирішені питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях працюючих на дільниці по виготовленню секції.

12 Розроблена технологічна документація на технологічний процес виготовлення секції – карти МК, ОК, КЕ.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Гусев, А. А.** Технология машиностроения (специальная часть): учебник для вузов Текст / А. А. Гусев, Е. Р. Ковальчук, И. М. Колесов и др. – Москва: Машиностроение, 1986. – 480 с.
2. **Горбацевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения 5-е изд. / В. А. Шкред, А. Ф. Горбацевич. – Москва: ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
3. **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т.1. – 656 с.
4. **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т.2. – 496 с.
5. **Рахштадт, А. Г.** Справочник металлиста: в 5-и т. / А. Г. Рахштадт, В. А. Брострем. – Москва: Машиностроение, 1976. – Т.2. – 720 с.
6. **Кузнецов, Ю. И.** Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. – Москва: Машиностроение, 1983. – 359 с.
7. **Горошкин, А. К.** Приспособления для металлорежущих станков / А. К. Горошкин. – Москва: Машиностроение, 1979 – 303 с.
7. **Корсаков, В. С.** Основы конструирования приспособлений: учебник для вузов / В. С. Корсаков. – изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1983. – 277 с.
8. **Городецкий, Ю. Г.** Конструкция, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов / Ю. А. Городецкий. – Москва: Машиностроение, 1971. – 367 с.
9. Приборы и системы для обеспечения качества. ТЕЗА / АО, Бюньон 38, 1020 – Ренанс: Швейцария, 1987, док. №103.019.8705.
10. **Панов, А. А.** Справочник технолога / А. А. Панов. Москва: Машиностроение, 1988. – 736 с.

11. **Руденко, П. А.** Проектирование технологических процессов в машиностроении / П. А. Руденко. – Киев: Вища школа, 1985. – 255 с.
12. **ГОСТ 7505–89.** Поковки стальные, штампование. Допуски, припуски и кузнечные напуски.
13. **Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – Ч. 1.** Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, долбежные и фрезерные станки – Москва: Машиностроение, 1974. – 416 с.
14. **Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках – Ч. II.** Зуборезные, горизонтально-расточные, резьбонакатные и отрезные станки. – Москва: Машиностроение, 1974. – 200 с.
15. **Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на шлифовальных и доводочных станках. – Москва: Машиностроение, 1974. – 203 с.**
16. **Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках, часть 3.** Протяжные, шлифовальные, доводочные станки Текст / Изд. 3-е. – Москва: ЦБНТ, 1978. – 360 с.
17. **Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / А. Н. Резников, Е. И. Алексенцев, Я. И. Барац и др. – Москва: Машиностроение, 1977. – 391 с.**
18. **Акилов, А. И.** Исследование нестационарных режимов процесса суперфинишобработки шеек коленчатых валов: дис. ... кандидата техн. наук 05.02.08 / Александр Иванович Акилов. – Челябинск, 1980. – 141 с.
19. **Гришкевич, А. В.** Способ отделочной обработки стальных закалённых деталей / А. В. Гришкевич, В. А. Капуста, О. А. Топоров // Вестник машиностроения. – 1973. - №9. – С. 55 – 57.
20. **Гришкевич, А. В.** О некоторых закономерностях рельефа брусков при ударно-циклической схеме микрорезания / А. В. Гришкевич // Резание и инструмент: науч.-техн. сб. – Харьков: Вища школа, 1977. – Вып.17. – С. 70 – 73.

21. **Ипполитов, Г. М.** Доводка прецизионных деталей машин: учеб. пособ. / Г. М. Ипполитов. – Москва: Машиностроение, 1979. – 256 с.
22. **Кремень, З. И.** Точность и качество поверхностей деталей / З. И. Кремень // Абразивная и алмазная обработка. – 1998. - №3. – С. 70 – 77.
23. **Луговской, В. В.** Управление качеством поверхностей технических изделий / В. В. Луговской // Техника. – 2007. - №5. – С. 23 – 35.
24. **Мазальский, В. Н.** Суперфинишные станки / В. Н. Мазальский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Машиностроение. 1988. – 127 с.
25. **Наерман, М. С.** Прецизионная обработка деталей алмазными и абразивными брусками / М. С. Наерман, С. А. Попов. – Москва: Машиностроение, 1971. – 224 с.
26. **Петряева, А. И.** [Электронный ресурс]: Донецк, 2005. – 7 с. – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2007/mech/petryaeva/diss/index.htm>.
27. **Савчук, В. И.** Суперфиниширование с радиально-колеблющимися абразивными брусками / В. И. Савчук, А. В. Гришкевич, В. Л. Горбенко. // Вестник машиностроения. – 1979. - №8. – С. 47 – 49.
28. **Савчук, В. И.** Технологические возможности финишных способов обработки абразивными брусками / В. И. Савчук, В. А. Иванов, М. А. Телетов // Вісник СумДУ: науч.-техн. сб. – Суми: Изд-во СумДУ, 2005. - №11/83. – С. 140 – 145.
29. **Савчук, В. И.** Особенности кинематики бруска, колеблющегося во взаимно-перпендикулярных плоскостях / В. И. Савчук, А. В. Гришкевич, В. Л. Горбенко // Резание и инструмент: научн.-техн. сб. – Харьков: Вища школа, 1978. – Вип. 19 – С. 54 – 58.
30. **Суслов, А. Г.** Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. – Москва: Машиностроение, 2000. – 320 с.
31. **Фрагин, И. Е.** Точность и производительность при алмазном хонинговании и суперфинишировании / И. Е. Фрагин // Синтетические алмазы в промышленности: научн.-техн. сб. – Киев: Наукова Думка, 1974. – Вып.14. – С. 172 – 177.
32. **А.с. 475255 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 24 В 35/00.** Способ отделочной обработки цилиндрических поверхностей, ограниченных буртами Текст / А. В. Гришкевич, Л. Б. Ступина (СССР). - №1454783/25-08; заявл. 23.09.74; опубл. 11.03.75, Бюл. № 24.



33. **А.с. 704769 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 24 В 35/00.** Способ отделочной обработки цилиндрических деталей абразивным бруском Текст / В. И. Савчук, А. В. Гришкевич, В. Л. Горбенко (СССР). - №2177240/25-08; заявл. 13.12.75; опубл. 23.05.79, Бюл. № 47.

34. **А.с. 1161355 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 24 В 35/00.** Станок для суперфиниширования деталей Текст / В. И. Савчук, А. В. Гришкевич, Е. М. Нирман, В. Н. Мазальский, А. И. Акилов, В. А. Капуста, В. Л. Шамин, Ю. П. Башлаев, Б. Д. Дисон, А. В. Гавзинский (СССР). - №2740309/25-08; заявл. 23.03.79; опубл. 15.06.85, Бюл. № 22.

35. **Пат. 90566 Україна, МПК (2010) В24В 35/00.** Спосіб суперфінішної обробки абразивним бруском / В. І. Савчук, С. М. Сахарова, заявник та власник патенту Сумський державний університет. – № а 200808388; заявлено 23.06.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.

36. **Савчук, В. И.** Технологические особенности обработки подшипниковых шеек валов суперфинишированием / В. И. Савчук, А. В. Евтухов // Компрессорное и энергетическое машиностроение – 2015. – №1 (39), март – С. 52 – 55.

37. **ГОСТ 12.2.061–81.** Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.

38. **ГОСТ 12.2.062–81.** Оборудование производственное. Ограждения защитные.

39.. **ГОСТ 12.2.012–90.** Вибрационная безопасность.

40. **ГОСТ 12.1.003–83.** Шум, общие требования безопасности.

41. **ГОСТ 12.2.029–88.** Система стандартов безопасности труда. Приспособления станочные. Требования безопасности.

42. **ГОСТ 12.4.011–75.** Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих.

43. **ГОСТ 12.3.002–75 ССБТ.** Процессы производственные. Общие требования безопасности.

44. **ДБН В2.5-28–2006.** Природне і штучне освітлення.

45. **ДБН Д.2.6-3–2000.** Збірник 3. Системи вентиляції і кондиціонування повітря.

46. **ДБН В.2.5–56:2010.** Системи протипожежного захисту.