

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

«магістр»

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(код та назва)

освітньо-професійної

програми

«Технології машинобудування»

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему:

Удосконалення технологічного процесу виготовлення

секції Н17.272.106.01 шляхом структурно-параметричної

оптимізації оздоблювальної операції

Здобувача (ки) групи

ТМ.м-31

(шифр групи)

Мовчан Роман Валентинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Роман МОВЧАН

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

доцент, канд. техн. наук, доцент Артем ЄВТУХОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер

доцент, канд. техн. наук, доцент Іван ДЕГТЯРЬОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

## ЗМІСТ

	с.
Вступ.....	4
Розділ 1 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.....	7
1.1 Аналіз службового призначення виробу і деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації .....	7
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо їх виготовлення.....	10
1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва.....	11
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	14
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.....	17
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі .....	26
Розділ 2 Удосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.....	29
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального ...	29
2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки .....	30
2.3 Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання .....	34
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки .	35
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів .....	38
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального і вимірювального інструментів.....	39
2.7 Визначення режимів обробки та технічне нормування операцій .....	40
2.8 Проєктування верстатного пристрою .....	47
2.8.1 Обґрунтування мети операції і завдання для проєктування.....	47
2.8.2 Розробка і обґрунтування схем базування і закріплення заготовки .....	47
2.8.3 Розрахунок точності елементів пристрою .....	50
2.8.4 Опис конструкції та роботи пристрою.....	51
2.9 Проєктування контрольно-вимірювального пристрою.....	52

2.9.1 Обґрунтування мети операції і завдання для проєктування.....	52
2.9.2 Вибір і обґрунтування методів вимірювання.....	55
2.9.3 Вибір і обґрунтування засобів вимірювання.....	55
2.9.4 Ескізне проєктування КВП.....	58
2.9.5 Опис конструкції і роботи КВП.....	59
2.10 Висновок.....	60
Розділ 3 Розроблення оптимальної структури оздоблювальної операції для оброблення торцевих плоских поверхонь секції вирівнюванням.....	61
3.1 Формування мікрорельєфу поверхні.....	61
3.2 Основні способи обробки вирівнюванням.....	62
3.3 Вирівнювання плоских торцевих поверхонь.....	64
3.4 Визначення конструктивних елементів пружини.....	67
3.5 Шорсткість поверхні обробленою вирівнюванням.....	69
3.6 Висновок.....	69
Висновки.....	70
Перелік джерел посилання.....	72

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На теплових електростанціях України широко застосовується насос марки ПЕ160–140 для живлення водою парогенераторів. Насос працює у важких, мало сприятливих умовах і тому потребує високі вимоги щодо якості його виготовлення. Це зобов'язує конструкторів і технологів постійно удосконалювати виріб і деталі із яких він комплектується.

На сьогодні, перспективним напрямом є те, що насос може бути комплектуючим виробом різних за конструкцією теплових електростанцій України і закордонних країн. Тому актуальним варіантом становиться виготовлення значної кількості насосів і запасних частин до нього. Наприклад, річний випуск цих виробів в об'ємі 500 штук, дозволить оснастити ними існуючі теплові електростанції країни і задовольнити потребу в електроенергії цього регіону.

Однією із основних деталей, із яких складається виріб, є секція Н17.272.106.01. Основними вимогами до виготовлення секції передбачені зносостійкість, надійність її роботи в складі виробу та потреба відповідати необхідним показникам технологічного процесу переливання води. Рішення висунутих питань потребує розробку оптимальної технології виготовлення секції та технології ремонтних робіт.

Основні технічні параметри – точність і шорсткість форми поверхонь секції формуються на оздоблювальних операціях технологічного процесу. Саме аналіз і подальше розроблення структури оздоблювальної операції технологічного процесу виготовлення секції буде наведено у кваліфікаційній роботі магістра.

**Об'єкт дослідження:** секція насоса Н17.272.106.01 та технологічний процес її виготовлення.

**Предмет дослідження:** структура та параметри технологічного процесу виготовлення секції Н17.272.106.01, та зокрема, оздоблювальної (плоскошліфувальної) операції.

**Мета дослідження.** Метою дослідження підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення секції Н17.272.106.01 із забезпеченням точності форми і шорсткості торцевих поверхонь секції.

**Завдання дослідження.** Розробити структуру оздоблювальної операції обробки торцевих плоских поверхонь секції способом алмазного вирівнювання, замінив нею існуючу операцію плоского шліфування. Запропонувати методику розрахунку режимів обробки алмазним вирівнюванням торцевих поверхонь секції. Розробити спеціальний інструмент для вирівнювання торцевих поверхонь не обмежених буртами і обмежених із однієї сторони.

**Методи дослідження.** Теоретичні і конструкторські дослідження базуються на основних наукових методах технології машинобудування.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Визначені математичні залежності формування шорсткості плоских торцевих поверхонь від параметрів режиму обробки та вихідної шорсткості попередньої операції.

Розраховані оптимальні режими обробки для операції алмазного вирівнювання із урахуванням вихідної шорсткості торцевих поверхонь секції.

**Практичне значення одержаних результатів.** Спроектвані інструменти для вирівнювання плоских поверхонь алмазним вирівнювачем. Визначені фактори, що впливають на точність форми і шорсткість плоских поверхонь при обробленні деталі. Обґрунтовані кінематичні умови обробки плоских поверхонь алмазним вирівнюванням.

**Особистий внесок магістранта.** Визначені математичні залежності формування шорсткості плоских торцевих поверхонь секції. Надані рекомендації по вибору режимів обробки плоских поверхонь алмазним інструментом.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Немає.

**Публікації.** Тези доповідей за результатами досліджень подано до редакції Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (СумДУ, м. Суми) та будуть опубліковані у квітні 2025 р.

**Структура і об'єм роботи.** Магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновку, переліку використаних джерел із 13 найменувань, 73 сторінок машинописного тексту, 28 рисунків, 15 таблиць, 15 додатків.

РОЗДІЛ 1  
АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення виробу і деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації

Насос ПЕ160–140 передбачений для живлення водою парогенераторів теплових електростанцій. Насос належить до виробів контурного призначення, виду 1, відновлюваних, зроблених згідно ГОСТ 27003-90. Виріб виконаний в хімічному виконанні УХЛ, категорії розміщення 4 згідно ГОСТ 15150-75 і експлуатується в природних умовах з діапазоном температури навколишньої середовища  $\pm 50$  °С. Насос не передбачений для експлуатації у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних виробництвах, які обумовлені «Правилами установлення електроустановок» (ПУЕ). Технічна характеристика насоса наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика насоса ПЕ160–140

Найменування показника	Чисельні дані
Подача води в номінальному режимі, мм <sup>3</sup> /ч	160
Тиск насоса в номінальному режимі, кгс/см <sup>2</sup> (МПа)	140 (14)
Середовище – живильна вода, показник водню, рН	6,8 – 9,2
Максимальний розмір твердих часток, мм	0,1
Концентрація твердих часток, не більше, г/м <sup>3</sup>	5
Частота обертання, с <sup>-1</sup> (об/хв)	49,65 (2979)
Потужність, кВт (при густині середовища, кгс/м <sup>3</sup> )	772 (911)
Коефіцієнт корисної дії, %	72
Допустимий кавітаційний запас, м	8,5
Сумарний зовнішній витік води крізь ущільнювання вала, не більше, м <sup>3</sup> /с (л/ч)	$0,167 \cdot 10^{-6}$ (0,6)
Маса (насоса / агрегата), кг	3900 / 8850
Габаритні розміри насоса (Д х Ш х В) не більше, мм	2600 x 1280 x 1170

Основною деталлю насоса є секція Н17.272.106.01 (див. додаток А), яка разом із аналогічними секціями, вхідною і напірною кришками, вставкою

стягнути між собою вісьмома шпильками і як складальна одиниця створює корпус насосу. В секції безпосередньо розміщений напрямний апарат, який формує потік робочої рідини. Секція, яка є відвідним пристроєм лопатевих насосів, забезпечує асиметричний потік рідини по поверхням робочих коліс і створює умови постійного відносного тиску рідини на ділянці робочого колеса, а також зменшує момент швидкості і перетворює кінетичну енергію потоку, що сходиться із поверхні колеса, в енергію тиску.

Секція (див. додаток А) є корпусною деталлю, в якій розташовані ротор і деталі ущільнення. Аналіз поверхонь деталі (див. рис. 1.1) визначив виконавчі (ВП), основні конструкторські (ОКБ) та допоміжні конструкторські поверхні (ДКБ), а також вільні поверхні (ВЛП).

ВП – 18, 28; ОКБ – 7, 8, 26 або 27; ДКБ – 1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24; ВЛП – 2, 3, 4, 5, 6, 9, 25, 29, 30 31.

Поверхні ОКБ 7, 8, 26 або 27 можна класифікувати за призначенням, ступеням позбавлення свободи, характеру прояву [1]. Схема зв'язків і відповідності наведені в таблицях 1.2 та 1.3.

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідності

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

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / l, α	X	Y	Z	База
l	0	0	1	УБ
α	1	1	0	
l	1	1	0	ПОБ
α	0	0	0	
l	0	0	0	ОБ
α	0	0	1	
Всього	2	2	2	6-ть зв'язків



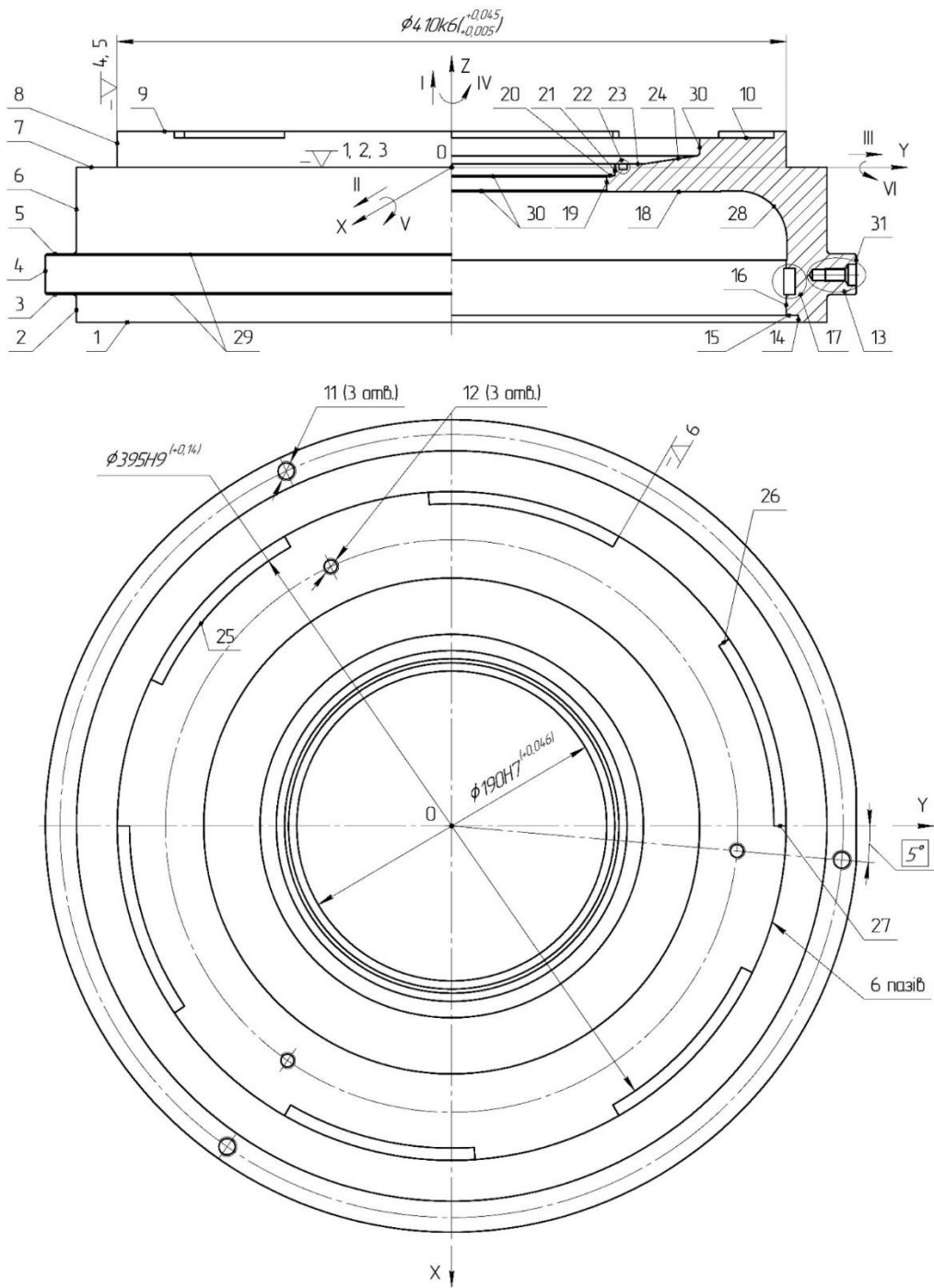


Рисунок 1.1 – Ескіз секції із нумерованими поверхнями

Аналіз перерахованих поверхонь дає підставу зазначити до них підвищені вимоги щодо точності розмірів та шорсткості поверхонь, а на етапі механічної обробки призначити відповідні методи їх обробки.

1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо їх виготовлення

З урахуванням службового призначення секції матеріалом деталі призначена конструкційна легована сталь 20X13 ГОСТ 5632-81 (див. табл. 1.4) [2].

Таблиця 1.4 – Хімічний склад сталі 20X13, в процентах

C	Не більше		Cr	S	P	Не більше			
	Si	Mn				Ti	Cu	Ni	Nb
0,16 – 0,25	0,8	0,8	12,0 – 14,0	0,025	0,03	0,2	0,3	0,6	0,05

Механічні властивості сталі згідно ГОСТ 25054-81 наведені в таблиці 1.5.

Таблиці 1.5 – Механічні властивості сталі 20X13 ГОСТ 5632-81

Режим термічної обробки, температура (°C), середа охолодження	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCV, Дж/см <sup>2</sup>	HB
Гартування 1000–1050, повітря або мастило; відпалювання 660–770; повітря, мастило або вода	648	441	16	55	39	197 – 248

За наведеними даними матеріал відповідає експлуатаційним показникам і застосовується у виробках для добичі нафти та насосах машинобудування. Можлива заміна матеріалу деталі на іншу марку сталі, наприклад, 30X13 ГОСТ 5632-72. Маса деталі 52 кг, найбільші її габаритні розміри 517 × 117 мм.

Аналіз визначив основні поверхні, які впливають на роботу виробу. Це отвори Ø190H7; Ø410H7; Ø395H9; Ø200H12, зовнішня циліндрична поверхня Ø410k6, а також три торцеві поверхні шорсткістю  $R_a = 0,32$  мкм та  $R_a = 1,6$  мкм, які пов'язані розмірами 80H9 і 95h9. Точність розмірів, шорсткість поверхонь, їх взаємне розташування в конструкції деталі задані конструктором за умовами експлуатації деталі та точності складання деталей секції в єдиний корпус. Конструкція наведених поверхонь та умови їх виготовлення забезпечуються відомим методом обробки – точінням.

Допуски радіального і торцевого биття торцевих поверхонь секції задані конструктором в межах 0,03–0,04 мм із умови герметичності з'єднання їх із площинними поверхнями інших секцій та вимогами до ущільнювальних елементів складальної одиниці.

Конструктор за рекомендаціями роботи [3] зазначив позиційний допуск на розташування різьбових глухих та отворів на «прохід» в межах 1,0 мм, що дозволить забезпечити точність складання з'єднаних деталей.

Аналіз технічних вимог на відповідність квалітетів точності і шорсткості поверхонь для розмірів  $\varnothing 410H7$ ;  $\varnothing 410k6$ ;  $\varnothing 190H7$ ;  $\varnothing 395H9$ , торцевих поверхонь  $\varnothing 460/\varnothing 425$ ;  $\varnothing 460/\varnothing 410k6$ ;  $\varnothing 395H9/\varnothing 304$ ;  $\varnothing 330/\varnothing 190H7$  виявив повну відповідність до рекомендацій ГОСТ 25347-82 і ГОСТ 2789-73. Наведені технічні вимоги дозволяють виключити гідравлічні втрати при роботі виробу на різних режимах та кліматичних середовищ.

На кресленні деталі відсутні допуски на кутове розташування шести пазів та допуску на початок їх відліку від бази (координатної осі деталі) – кут  $5^\circ$ . Відсутність наведеної технічної вимоги можна виправити. Рекомендується зазначити допуск в межах  $\pm 30'$ .

Треба точніше зазначити кутове розташування паза 16 x 5,5 мм відносно осі різьбового отвору  $M8-7H$ , що дозволить забезпечити кращі умови при складанні окремих секцій в єдиний корпус.

Аналіз не виявив відхилення технічних вимог креслення від вимог діючих стандартів. Це дає підставу приступити до удосконалення маршрутного технологічного процесу виготовлення секції.

### 1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{30}$  [4]. Вихідні дані: існуючий технологічний процес виготовлення секції; річна програма випуску виробів  $N = 500$  шт; норми штучно-калькуляційного  $T_{ш-к}$  часу за всіма механічними операціями технологічного процесу. Вихідні дані і розрахунок коефіцієнта закріплення операцій  $K_{30}$  наведений в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

Номер операції	Найменування операції	$T_{ш-к, хв}$	$m_p$	$P$	$\eta_{з.ср.}$	$O$
015	Токарно-карусельна	498,4	1,289	2	0,644	1,24
020	Токарна з ЧПК	98,4	0,254	1	0,254	3,15
025	Токарна з ЧПК	51,4	0,133	1	0,133	6,1
030	Горизонтально-розточувальна	4,7	0,012	1	0,012	66,7
035	Фрезерна з ЧПК	12,8	0,033	1	0,033	24,2
040	Свердлильна з ЧПК	3,3	0,008	1	0,008	100
045	Плоскошліфувальна	11,3	0,029	1	0,029	27,6
	Всього	680,3	–	8	–	228,99

*Визначення типу виробництва.*

Кількість верстатів по окремих операціям визначається за формулою

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

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

$N = 500$  шт – річна програма деталей;

$\eta_{з.н.ср.} = 0,8$  – середній нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

Приймаємо ціле число робочих місць  $P$ , округлюючи до ближнього більшого цілого числа значення  $m_p$ .

Фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця

$$\eta_{з.ср.} = m_p / P.$$

Кількість операцій, які виконуються на робочому місці

$$O = \eta_{з.н.ср.} / \eta_{з.ср.}$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.1 и визначаємо суми  $T_{шт.}$ ;  $P$ ;  $O$ .

Коефіцієнт закріплення операцій становить

$$K_{зо} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{228,99}{8} = 28,6.$$

Згідно ГОСТ 14.004-83, якщо коефіцієнт закріплення операцій знаходиться в межах  $20 < K_{зо} = 28,6 \leq 40$ , то тип виробництва є дрібносерійним [4].

*Визначення форми організації виробництва.*

Добовий випуск деталей

$$N_d = N/254 = 500/254 = 2 \text{ шт,}$$

де 254 – кількість робочих днів у році.

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

$$Q = \frac{F_d}{0,6 \cdot T_{cp}} = \frac{952}{0,6 \cdot 85} = 19 \text{ шт,}$$

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

$T_{cp} = \sum T_{ш-к}/n_p = 680,3/8 = 85$  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 приймаємо групову форму організації виробництва. Запуск виробів відбувається партіями із визначеною періодичністю, що є знаком серійного виробництва.

Кількість деталей в партії для їх одночасного запуску можна визначити спрощеним способом за формулою

$$N_p = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{500 \cdot 12}{254} = 24 \text{ шт,}$$

де  $a = 12$  днів – періодичність запуску деталей для виготовлення.

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

$$C = \frac{T_{cp} \cdot N_p}{F_3 \cdot \eta_{з.н.ср}} = \frac{85 \cdot 24}{476 \cdot 0,8} = 5,4,$$

де  $F_3 = F_d/v = 952/2 = 476$  хв – змінний фонд часу роботи обладнання;

$v = 2$  – кількість змін;

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

Округлюємо кількість змін до ближнього цілого значення  $C_{п} = 5$ . Тоді кількість деталей в партії

$$N_{п} = \frac{F_{з} \cdot C_{п} \cdot \eta_{з.н.ср}}{T_{ср}} = \frac{476 \cdot 5 \cdot 0,8}{85} = 22,4 \text{ шт.}$$

Приймаємо  $N_{п} = 23$  шт.

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

В дрібносерійному виробництві (дивись ГОСТ 14.004-83) застосовуються універсальні, частково спеціалізовані верстати з ЧПК. Обладнання в цеху розташовано за технологічними групами, із урахуванням основних вантажних потоків цеху по предметно-зачиненим дільницям. Розповсюджена універсальна та універсально-збірна, переналагоджувана технологічна оснастка. Вихідними заготовками є поковки на молотах, лиття в піщано-глинясті форми, лиття під тиском та в кокіль.

Потрібна точність розмірів заготовок досягається методом пробних ходів із частковим застосуванням розмічування. Технологічна документація і технічне нормування ретельно розроблюється для складних і відповідальних заготовок, але має місце використання спрощеної документації.

Транспортування заготовок між операціями відбувається в основному ручним способом, але також застосовується піднімальне-транспортне обладнання, електричні піднімальні пристрої, підлоговий електричний транспорт.

#### 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Аналіз технологічності виконується за даними креслення Н17.272.106.01. Заготовкою деталі на підприємстві є поковка на штампувальному пароповітряному молоті. Форма і розміри деталі, заготовки суттєво різняться між собою. Маса заготовки 176,2 кг, маса деталі 52 кг, тому, коефіцієнт

використовування металу  $K_{\text{вм}} = 52/176,2 = 0,3$ . Коефіцієнт показує, що при обробки заготовки багато металу видаляється в стружку. Це характеризує обробку заготовки із високою трудомісткістю та металоємкістю конструкції. За цим показником заготовка є нетехнологічною.

Матеріалом деталі є сталь 20Х13 ГОСТ 5632-72. Хімічний склад і фізико-механічні властивості сталі характеризують її обробку різанням у загартованому і відпаленому станах при НВ241 та  $\sigma_{\text{в}} = 730$  МПа коефіцієнтами різання  $K_{\text{в тв. спл.}} = 0,7$ ;  $K_{\text{в швид. сталі}} = 0,45$ , де нормативним коефіцієнтом є  $K_{\text{в}} = 1$ . За цими коефіцієнтами трудомісткість обробки заготовки збільшується, що є нетехнологічним показником.

Аналізом встановлено, що кількість видів, проєкцій, перерізів, перетинів містить всі потрібні дані, що дають повне уявлення о деталі. Конструктор правильно зазначив розміри поверхонь, їх точність, граничні відхилення від правильних форм поверхонь та їх взаємного розташування, згідно службового призначення деталі і виробу.

Конструкція деталі дозволяє застосовувати високопродуктивні методи обробки: точіння різцями, фрезерування, свердлення, нарізання різьби. Шліфування поверхонь для отримання шорсткості  $R_a = 0,63 - 0,8$  мкм є обмеженим, що пов'язано із властивостями металу деталі.

Аналізом визначені важкодоступні місця для обробки. По-перше, глухий, ступінчастий отвір  $\varnothing 13$  мм і різьбою М8–7Н, який розташований на плоскій поверхні на відстані 498 мм (дивись вид В на кресленні деталі). Це конструктивне рішення є нетехнологічним, тому що виключає роботу інструментів «на прохід». Також, наведений факт відноситься до обробки різьбових отворів М10–7Н. По-друге, різьбові отвори М12–7Н розташовані на торцевій поверхні  $\varnothing 498/\varnothing 460$ , а фаски  $1,6 \times 45^\circ$  – зі сторони виду А (див. рис. 1.2).

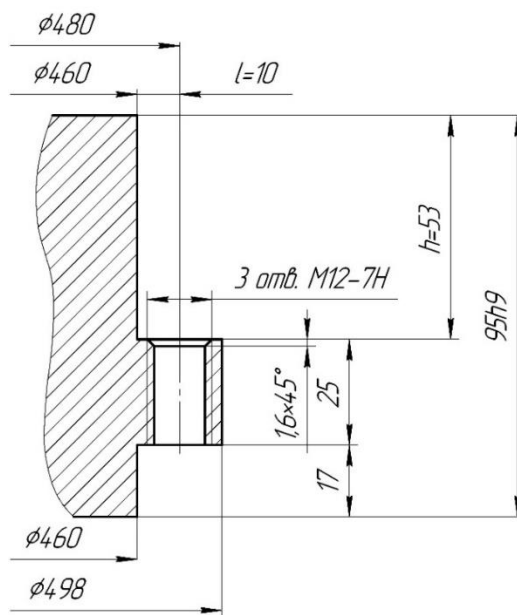


Рисунок 1.2 – Нетехнологічний елемент конструкції деталі

Для обробки цих отворів доступ інструментів (свердл, зенківок, мітчиків) обмежений відстанями  $h = 53$  мм і  $l = 10$  мм, що потребує застосування інструментів із подовжувачами.

Аналіз базової поверхні  $\text{Ø}190\text{H}7$  виявив її недостатню розвиненість на довжині 10 мм. Застосування поверхні в якості подвійної напрямної бази виключено, тому що  $L/D = 10/190 = 0,053 \ll 1$ . Тому, на деяких операціях ТП треба замінити наведену поверхню іншою, що дозволить забезпечити точність розмірів та взаємне розташування поверхонь за вимогами креслення.

Підвищена складність виникає при обробки радіуса  $R30$  із шорсткістю поверхні  $R_a = 3,2$  мкм. Для реалізації цих вимог треба застосувати фасонний різальний інструмент (різець), або оброблювати заготовку на верстаті з ЧПК та передбачити точність дискретного переміщення інструмента керуючою програмою.

За іншими конструктивними параметрами деталь є технологічною, допускає застосування високопродуктивних способів обробки, має хороші базові поверхні при обробленні на перших і наступних операціях ТП. Конструкція деталі є нескладною і дозволяє застосовувати недорогі верстати при її обробленні.



На основі виконаного аналізу пропонується замінити спосіб виготовлення первинної заготовки, виконавши відповідні техніко-економічні розрахунки.

### 1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі

Аналіз існуючого на підприємстві технологічного процесу виготовлення секції виконаний за умовою дрібносерійного типу виробництва.

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

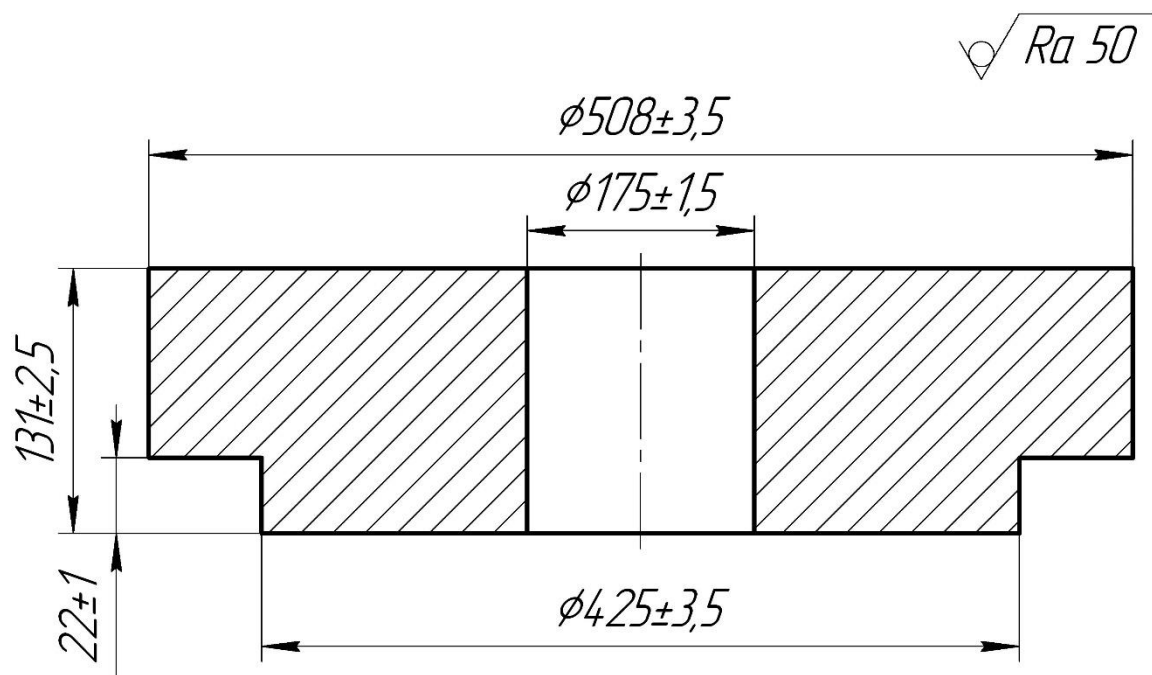


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки на операції 005

Заготовка має великі припуски и напуски на механічну обробку. Пропонується спосіб виготовлення первинної заготовки – ковка на гідравлічному пресі. Це наблизить конфігурацію заготовки до готової деталі і зменшить трудомісткість механічних операцій.

**Операція 015 «Токарна з ЧПК».** Обробка поверхонь секції виконується на верстаті моделі 1A512МФ3. Верстат має два супорти, що дозволяє сумістити деякі переходи і вести паралельну обробку поверхонь заготовки. Для базування

і закріплення заготовки використовується токарний трикулачковий, самоцетруючий патрон згідно ГОСТ 24351-80.

На операції оброблюються базові поверхні заготовки. Структура операції складається із двох установів А і Б, вісімнадцяти технологічних переходів. Ескіз заготовки на установі А операції 015 наведений на рисунку 1.4.

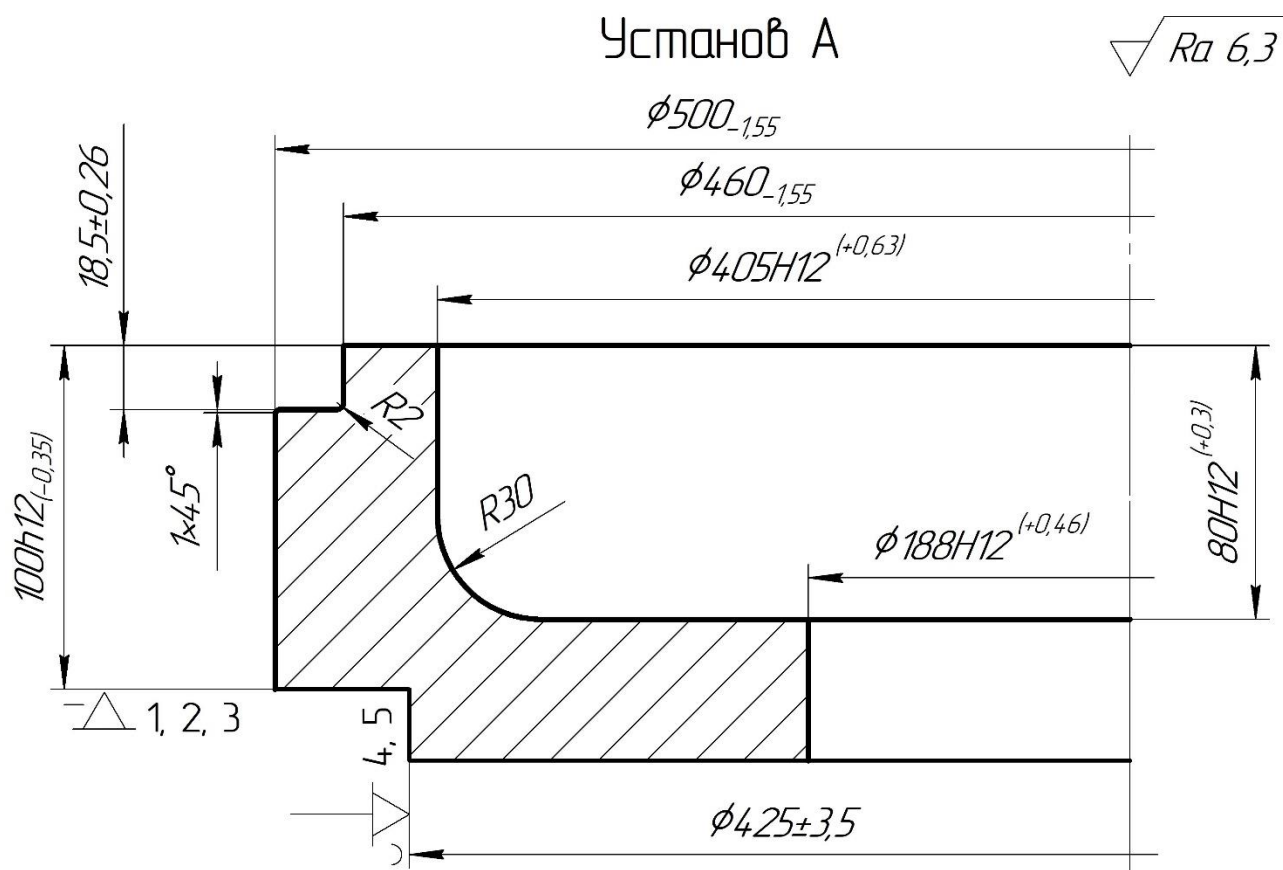


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки на операції 015. Установ А

Базами на установі А є  $\phi 425 \pm 3,5$  і торець  $\phi 508 / \phi 425$  (див. рис. 1.3). Оброблюються  $\phi 188H12$ ,  $\phi 405H12$ ,  $\phi 460(0; -1,55)$ ,  $\phi 500(0; -1,55)$ , радіуси  $R30$  і  $R2$ , фаска  $1 \times 45^\circ$  та витримуються розміри  $100h12$  мм,  $80H12$  мм,  $18,5 \pm 0,26$  мм.

На установі Б (див. рис. 1.5) базовими поверхнями є торець  $\phi 460 / \phi 405H12$  і  $\phi 460(0; -1,55)$ , які оброблені на установі А. Оброблюються зовнішні поверхні  $\phi 460(0; -1,55)$ ,  $\phi 415h12$ , радіус  $R2$ , фаска  $1 \times 45^\circ$  і внутрішні –  $\phi 390H12$ ;

Ø300H12, Ø230H12, Ø195H12 та витримуються розміри 4±0,15 мм, 11±0,215 мм, 16±0,215 мм, 23±0,26 мм, 22±0,26 мм, 25 мм, 98h12 мм.

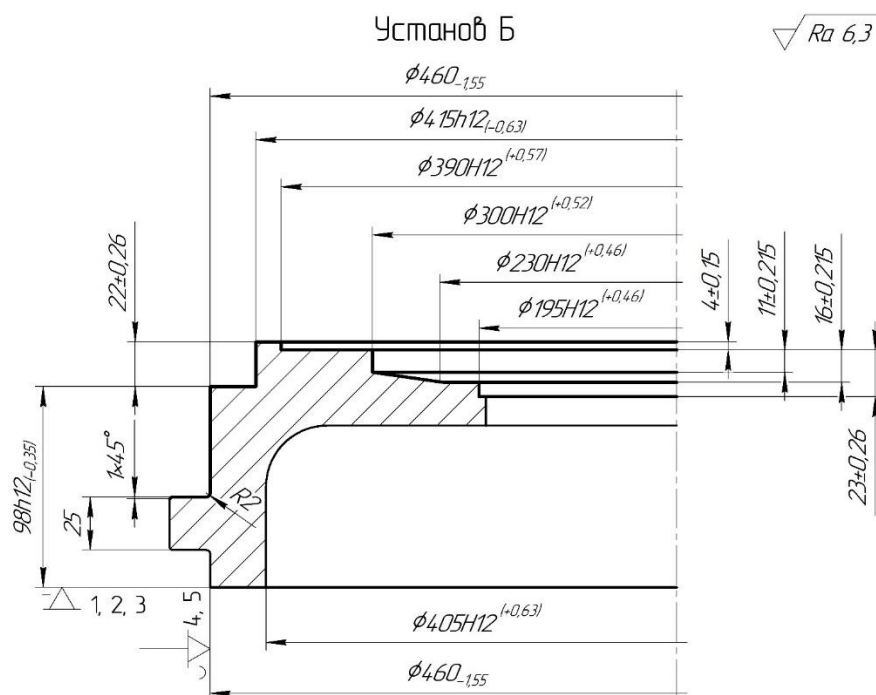


Рисунок 1.5 – Ескіз заготовки на операції 015. Установ Б

**Операція 020 «Токарна з ЧПК».** Обробка виконується на верстаті моделі 1A512МФ3. Структура операції – два установа, одинадцять технологічних переходів. Ескіз заготовки на установі А наведений на рисунку 1.6.

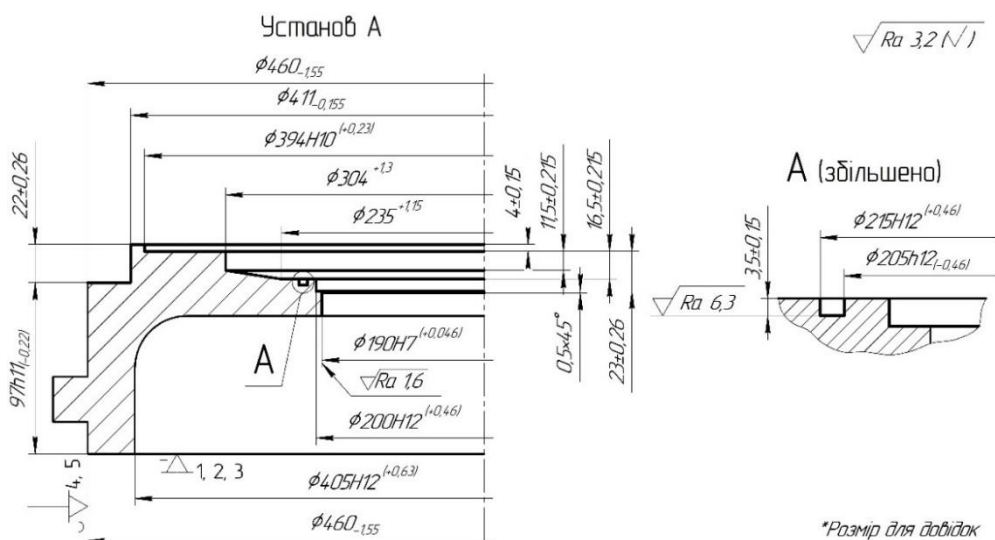


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки на операції 020. Установ А



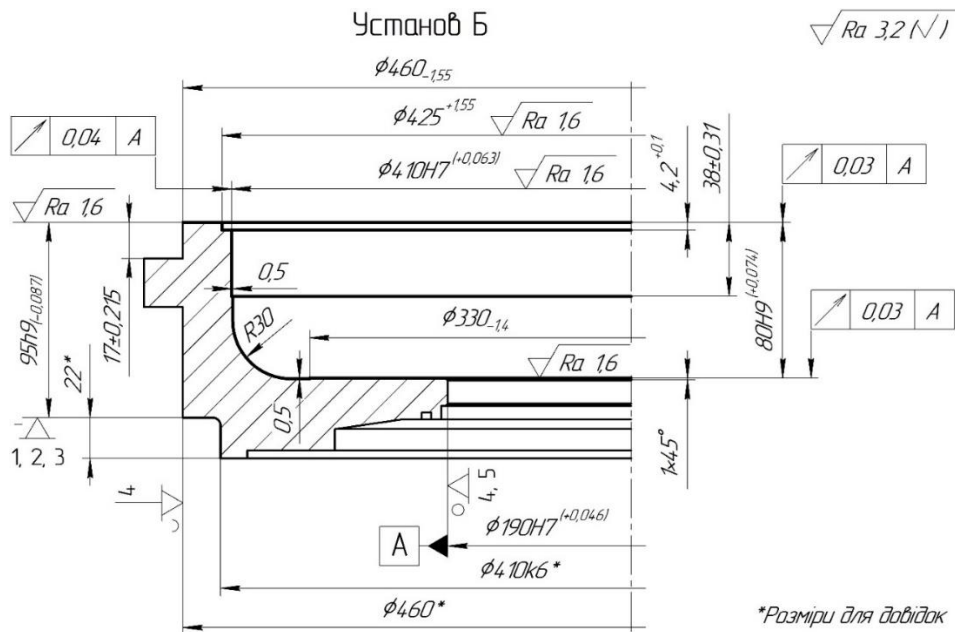


Рисунок 1.9 – Ескіз заготовки на операції 025. Установ Б

На операції застосовуються спеціальна оправка  $\phi 190f6$  та чотирьох кулачковий токарний патрон. На операції остаточно витримуються технічні вимоги креслення по взаємному розташуванню циліндричних поверхонь заготовки і підготовлені базові поверхні під пази і різьбові отвори.

**Операція 030 «Горизонтально-розточувальна».** Обробка виконуються на верстаті моделі 2М615. Структура операції складається із одного установа. Заготовка базується по отвору  $\phi 190H7$  і торцю  $\phi 460/\phi 410k6$  (див. рис. 1.10).

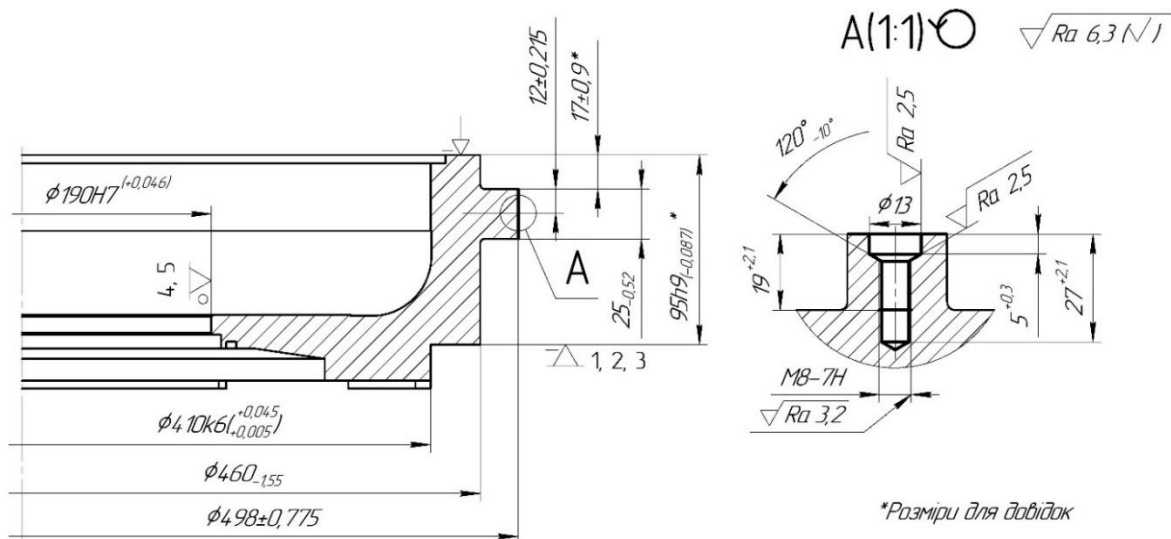


Рисунок 1.10 – Ескіз заготовки на операції 030

На першому технологічному переході фрезерується плоска поверхня («листка») на  $\varnothing 500$  мм шириною 25 мм і витримується розмір  $498 \pm 0,575$  мм.

На наступних технологічних переходах оброблюється ступінчастий різьбовий отвір (вид А). Спочатку свердлиться отвір  $\varnothing 6,7$  мм під різьбу М8-7Н на глибину  $27(+2,1; 0)$  мм, потім свердлиться отвір  $\varnothing 13$  мм на глибину  $5(+0,3; 0)$  мм і одночасно формується фаска під кутом  $120^\circ(0; -10^\circ)$ . Останньою нарізається різьба М8-7Н (чорновим і чистовим мітчиками) на глибину  $19(+2,1; 0)$  мм.

**Операція 035 «Фрезерна з ЧПК».** Обробка виконується на верстаті моделі 654Ф3. Структура операції складається із установів А і Б. На установі А заготовка базується по торцю  $\varnothing 460/\varnothing 410k6$ , отвору  $\varnothing 190H7$  і «листки» (див. рис. 1.11).

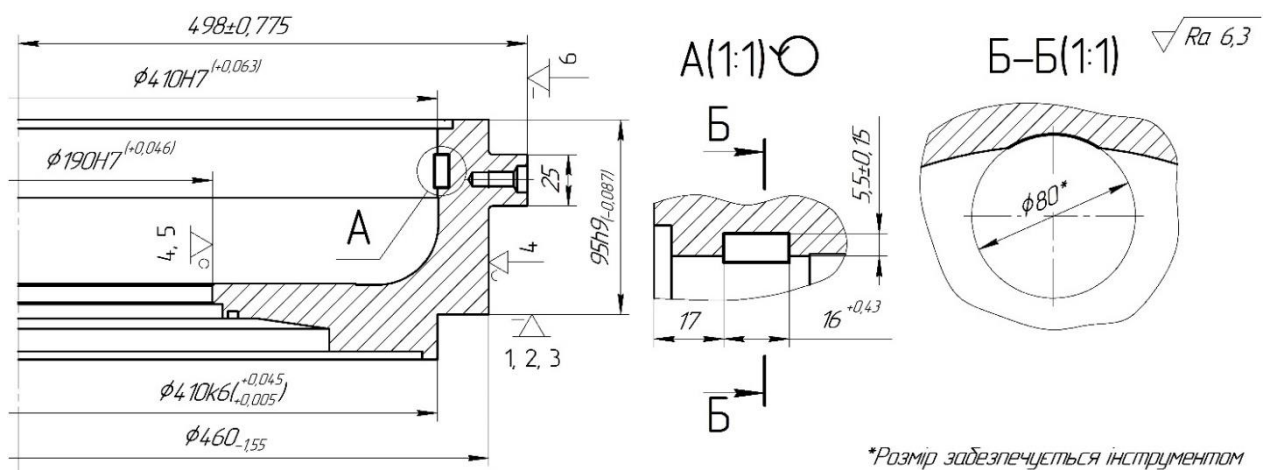


Рисунок 1.11 – Ескіз заготовки на операції 035. Установ А

Заготовка позбавлена шести ступенів свободи, вона закріплюється чотирьох кулачковим не самоцентрувальним патроном за поверхню  $\varnothing 460(0; -1,55)$  мм. На установі А фрезерується паз шириною  $16(+0,43; 0)$  мм, глибиною  $5,5 \pm 0,15$  мм і витримується розмір 17 мм. Паз розташовується на  $\varnothing 410H7$  мм. За вимогами креслення паз фрезерується мірною дисковою тристоронньою фрезою, ширина і довжина паза витримуються інструментом.

На установі Б (див. рис. 1.12) заготовка переустановлюється і базується по отвору  $\varnothing 190H7$ , торцевій поверхні  $\varnothing 460/\varnothing 425$  і «листки» шириною 25 мм.

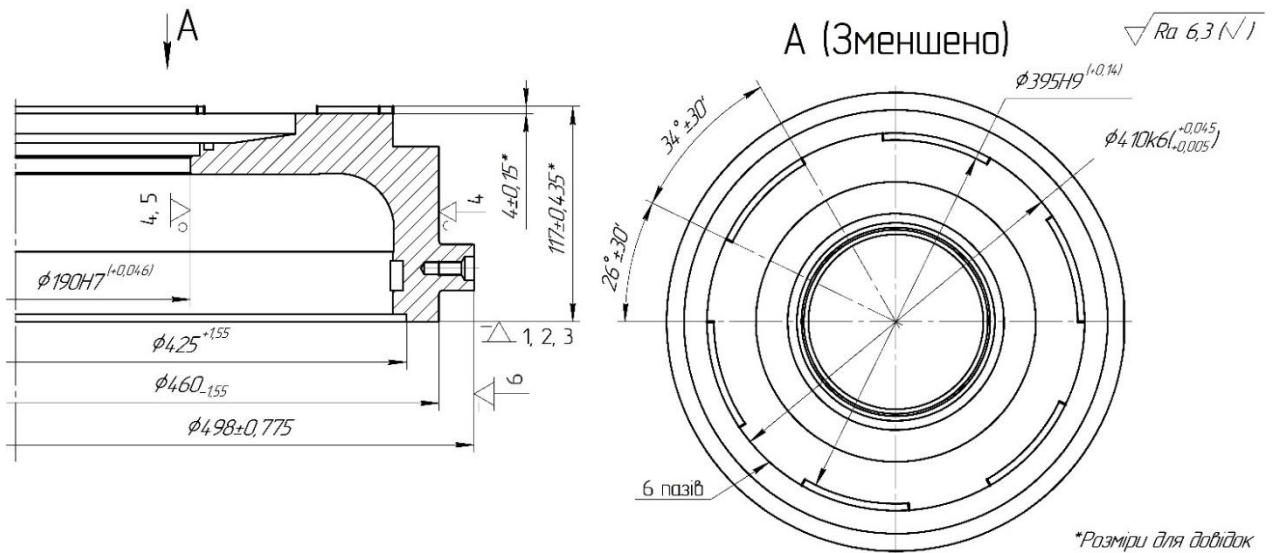


Рисунок 1.12 – Ескіз заготовки на операції 035. Установ Б

Фрезеруються шість наскрізних пазів глибиною  $4 \pm 0,15$  мм. За вимогами креслення треба витримати кут розташування пазів один від одного  $26^\circ \pm 30'$ , а також кут стінки кожного паза  $34^\circ 30'$ . Одночасно необхідно витримати відносне розташування пазів від осі ступінчастого отвору  $\phi 13/M8-7H$  розташованого на площині «лиски».

**Операція 040 «Свердлильна з ЧПК».** Обробка виконується на верстаті моделі 2M55Ф3. Структура операції складається із одного установка (див. рис. 1.13).

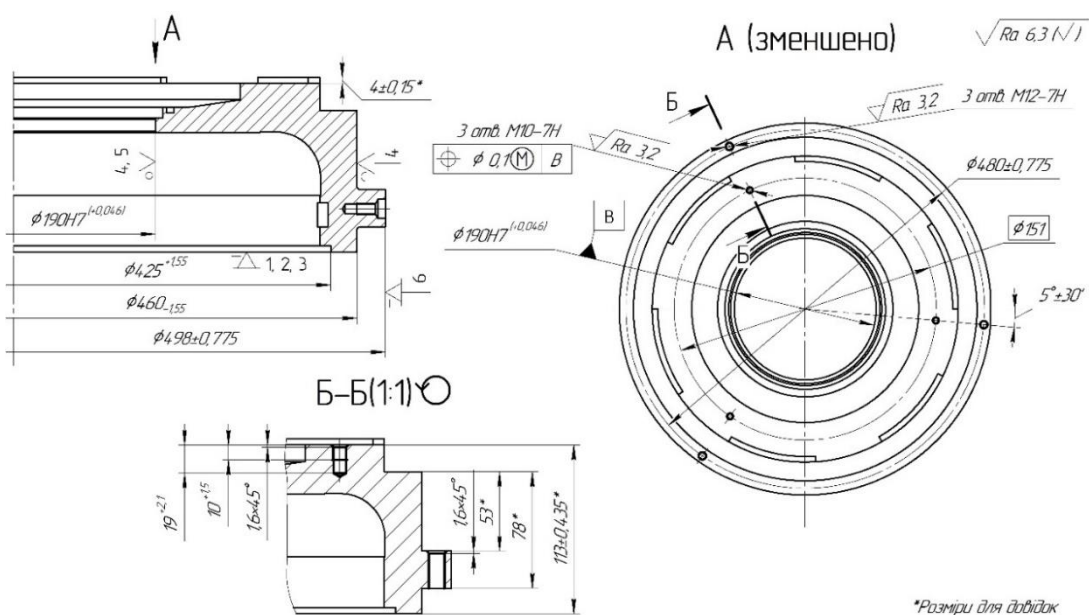


Рисунок 1.13 – Ескіз заготовки на операції 040

На операції обробляються три отвори з різьбою M10-7H на  $\varnothing 151$  мм (залежний допуск від отвору Д) та три отвори з різьбою M12-7H на  $\varnothing 480 \pm 0,775$  мм. Вимогами креслення витримується кутове розташування наведених отворів  $5^\circ \pm 30'$  від осі ступінчастого отвору  $\varnothing 13/M8-7H$  розташованого на площині «лиски».

Отвори M12-7H розташовані на площині торця  $\varnothing 500/\varnothing 460$  мм. Відстань від центру деталі становить  $\varnothing 480 \pm 0,775$  мм, а площина зазначеного торця знаходиться на відстані 53 мм від торця  $\varnothing 460/\varnothing 410k6$ . При обробки цих отворів обмежується застосування стандартних різальних інструментів, а саме, потребує збільшення довжини свердла, зенківки, мітчиків. В розділі 1.4 (див. рис. 1.2) це обмеження відзначено і запропоноване її рішення.

**Операція 045 «Плоскошліфувальна».** Обробка виконується на плоскошліфувальному верстаті моделі 3Д741А із обертальним круглим столом. Структура операції складається із двох установів А і Б. На установі А заготовка базується по отвору  $\varnothing 190H7$  і торцю  $\varnothing 460/\varnothing 410k6$  (див. рис. 1.14).

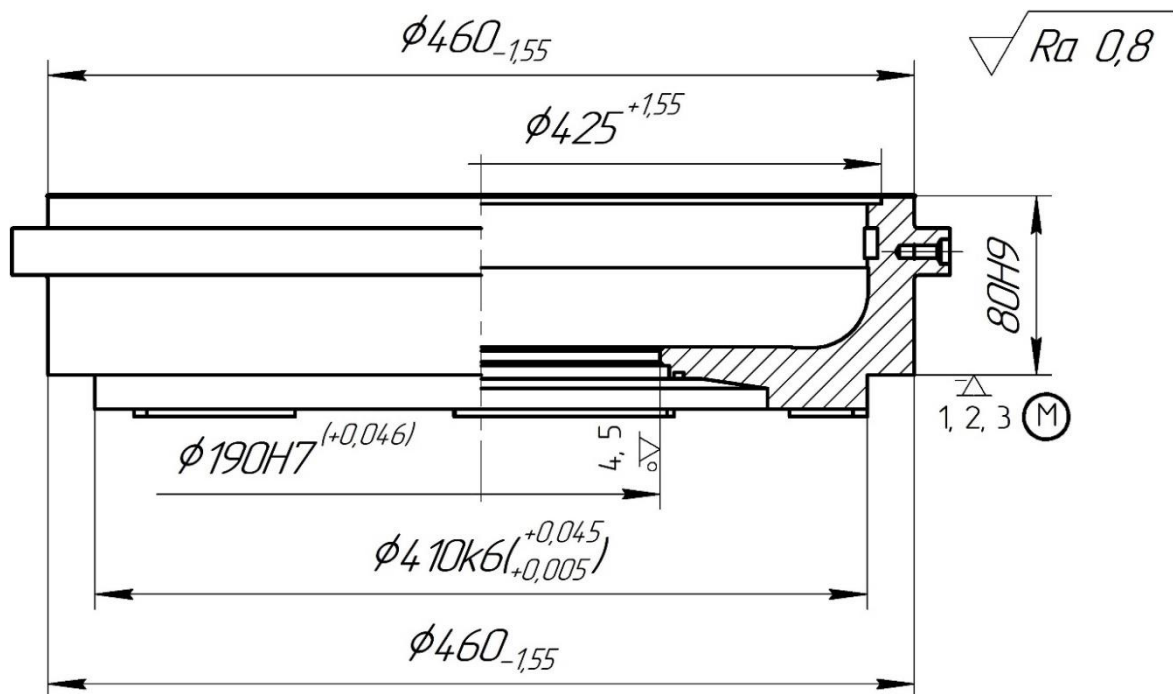


Рисунок 1.14 – Ескіз заготовки на операції 045. Установ А





## 1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

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

1. Для умов дрібносерійного типу виробництва пропонується первинну заготовку виготовляти на КГШП, що дозволить значно зменшити масу і припуски на оброблювальні поверхні заготовки. Пропонований захід призведе до значного зменшення часу механічної обробки поверхонь на всіх операціях технологічного процесу виготовлення секції.

2. В кожній структурі існуючих токарних операцій 015, 020, 025 є значна кількість технологічних переходів, яка призводить до підвищеного збільшення допоміжного часу в загальній структурі окремої операції. З метою зменшення допоміжного часу кожної операції пропонується призначити сучасні моделі верстатів з ЧПК – Proton XL. 630.15 і укомплектувати їх відповідними верстаними пристроями та різальними інструментами. Пропонуємий захід дозволить зменшити час налагодження та трудомісткість операцій.

3. На операції 030 «Горизонтально-розточувальна» застосовується застаріла модель верстата. Пропонується існуючу модель верстата замінити новою – верстатом з ЧПК, наприклад, верстатом моделі BO 130 CNC. Зазначена модель має розширений діапазон застосування різальних інструментів, зменшений час на їх переустановлення і підвищену продуктивність обробки заготовок.

4. На операціях 035 «Фрезерна з ЧПК» і 040 Свердлильна з ЧПК» оброблюються сім пазів і шість різьбових отворів секції. Пропонується сумістити ці дві операції в одну і виконувати обробку заготовок на оброблювальному центрі з ЧПК моделі X.mill 900 B. Це значно зменшить трудомісткість ТП обробки і збільшить точність оброблювальних поверхонь секції.

Для швидкого переналагодження заготовок, пов'язаного із заміною базових поверхонь на операції, пропонується спроектувати спеціальний

верстатний пристрій що зменшить час їх базування і закріплення та підвищить точність обробки поверхонь.

5. На операції 045 «Плоскошліфувальна» на двох торцевих поверхнях деталі необхідно забезпечити шорсткість  $R_a = 0,32$  мкм, площинність поверхні в межах 0,02 мм та радіальне биття в межах 0,03 мм. Для обробки плоских поверхонь секції застосовується чашковий шліфувальний круг ЧК 300x150x150 ГОСТ 2424-88 із характеристикою 24A12C25K6 35 м/с А 2кл. ГОСТ 2424-88.

Температура в робочій зоні шліфування становить більше 750 °С. На шліфованих поверхнях заготовки з'являється аморфний шар металу, в якому вигорів вуглець. У разі експлуатації зазначена структура верхнього шару поверхні швидко зноситься і втрачить потрібні фізико-механічні властивості. Окрім цього, при шліфуванні окремо виступаючі абразивні зерна шліфувального круга залишаються на оброблювальній поверхні глибокі задирки (подряпини), що не допустимо вимогами креслення. Заміна існуючого методу оброблення поверхні на інший дозволить виправити виявлені недоліки.

6. Пропонується для забезпечення вимог креслення застосувати оздоблювальний метод, у якому потрібна шорсткість поверхонь забезпечується поверхнево-пластичним деформуванням (ППД). За цим методом температура в зоні обробки не перевищує 70-80 °С і не призводить до вигорання вуглецю. Потрібна мікроструктура поверхні формується силою тиску (не перевищує 600 Н), що призводить до збільшення твердості та зменшенню шорсткості поверхні.

За даними літературних джерел [5, 6, 7, 8] для обробки плоских поверхонь пропонується метод ППД, в якому оброблювальний інструмент містить алмазний кристал відповідної форми (сфери, тора, конуса і т. ін.). Пропонується в існуючому ТП замінити операцію 045 «Плоскошліфувальна» операцією 045 «Токарна з ЧПК».

Запропоновану операцію можна виконати на вертикальному токарному верстаті звичайної точності, що виключить із ТП дорогий і підвищеної точності шліфувальний верстат та зменшить собівартість виготовлення секції.

7. Контроль радіальних поверхонь секції виконується індикаторами, розташованими на магнітному стояку. Вимірювання кожної поверхні виконується одним індикатором розташованим на магнітному стояку, що займає значний час на переустановлення і закріплення індикаторів.

З метою зменшення часу вимірювання, пропонується розробити контрольно-вимірювальний пристрій, на якому застосувати паралельний контроль кількох поверхонь секції одночасно.

РОЗДІЛ 2  
УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

На підприємстві, де виготовлялася секція відцентрового насоса, розроблений технологічний процес (ТП) із застосуванням верстатного обладнання, яке є в наявності на виробничій дільниці (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Існуючий ТП механічної обробки секції

Номер операції	Найменування операції	Модель верстата
005	Обробка тиском	Молот
010	Термічна обробка	Піч
015-025	Токарна з ЧПК	1A512MФ3
030	Горизонтально-розточувальна	2M615
035	Фрезерна з ЧПК	654Ф3
040	Свердлильна з ЧПК	2M55Ф3
045	Плоскошліфувальна	3Д754П
050	Промивання	Ванна
055	Технічний контроль	Стіл ВТК

Існуючий ТП розроблений для умов дрібносерійного виробництва і містить багато застарілих моделей верстатів, технологічної оснастки з ручним способом закріплення заготовок, різального і вимірювального інструментів. Окрім цього, на операції 045 «Плоскошліфувальна» не забезпечується потрібна шорсткість поверхні  $R_a = 0,32$  мкм за вимогами креслення. Згідно існуючих виробничих можливостей, робочі на оздоблювальній операції застосовують доведення шорсткості ручним способом абразивною шкуркою, і не завжди потрібна вимога креслення задовольняється. Конструктор секції змушений завищити шорсткість торцевих поверхонь до  $R_a = 0,8$  мкм.

Для усунення наведеного недоліку необхідно удосконалити існуючий ТП механічної обробки секції, стосовно заданого типу виробництва (див табл. 2.2).

Пропонується існуючу операцію 035 «Плоскошліфувальна» замінити на операцію «Токарна з ЧПК», застосувати сучасний вертикальний токарний верстат з ЧПК і виконувати обробку плоских торцевих поверхонь методом алмазного вирівнювання.

Таблиця 2.2 – Запропонований ТП механічної обробки секції

Номер операції	Найменування операції	Модель верстата
005	Обробка тиском	КГШП
010	Термічна обробка	Піч
015-025	Токарна з ЧПК	Proton XL 630.15
030	Розточувальна з ЧПК	BO 130 CNC
035	Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК	X.mill 900 B
040	Токарна з ЧПК	Verturn 6070c
045	Промивання	Ванна
050	Технічний контроль	Стіл ВТК

З цією метою необхідно розробити структуру операції, для якої обрати модель токарного верстата та розробити конструкцію спеціального алмазного інструменту для вирівнювання.

2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки

Аналіз розмірів, маси і технічних вимог визначив, що заготовка може бути отримана штампуванням на штампувальних пароповітряних молотах або на гідравлічних пресах [9].

1 Визначимо вартість заготовки  $S_3^1$ , яка отримана на пароповітряному молоті [4] (див. рис. 2.1) за формулою:

$$S_3^1 = M_3^1 \cdot C_{\text{опт}}^1 \left( 1 + \frac{a_{\text{т.з}}}{100} \right) - (M_3^1 - M_{\text{д}}^1) \cdot C_{\text{від}}^1, \quad (2.1)$$

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

$M_3^1$  – 176,2 кг – маса заготовки, кг;

$C_{\text{опт}}^1$  – оптова ціна одного кілограма заготовки, грн;

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

$Ц^1_{від} = 2260 - 2280$  грн – ціна за тону відходів. Приймаємо  $Ц^1_{від} = 2280$  грн.

Оптова ціна розраховується за формулою:

$$Ц^1_{опт} = \frac{Ц^1_{тш}}{1000} \cdot K_{мш} \cdot K_c \cdot K_{ов} \cdot \left(1 + \frac{b_{тз}}{100}\right), \quad (2.2)$$

де  $Ц^1_{тш} = 11820$  грн – оптова ціна тони штамповки;

$K_{мш} = 0,72$  – коефіцієнт враховує масу штамповки;

$K_c = 0,9$  – коефіцієнт враховує групу складності заготовки (група 2);

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

$b_{тз} = 8\%$  – показник характеризує точність заготовки (в процентах).

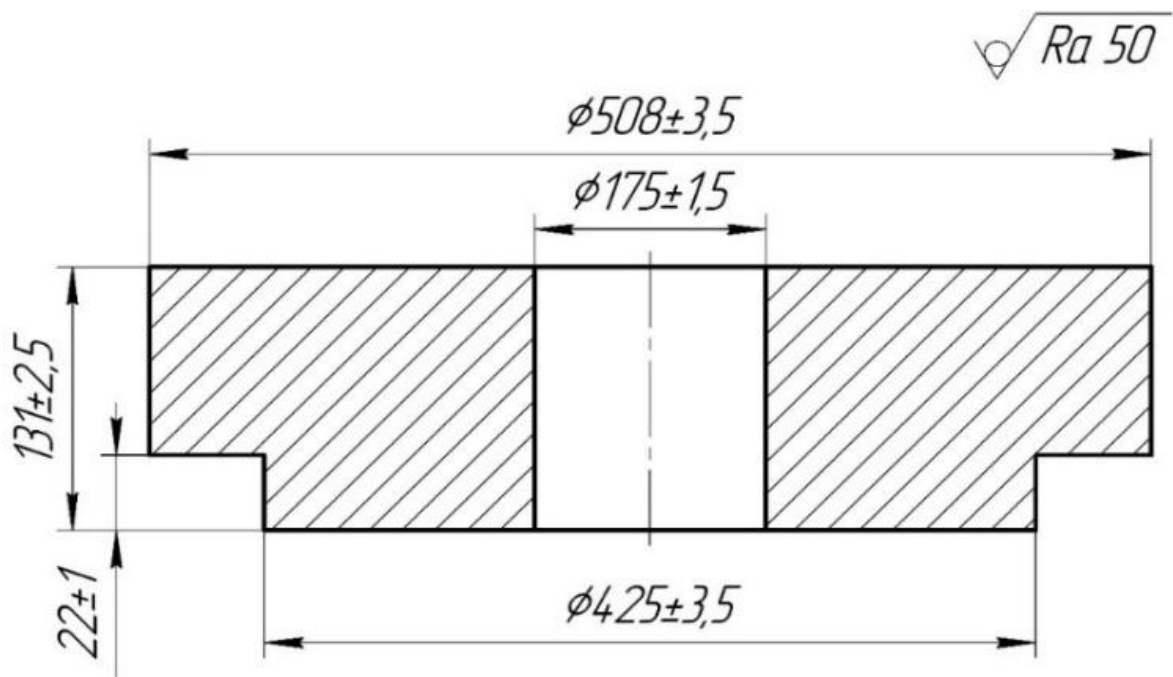


Рисунок 2.1 – Поковка, яка виготовлена на штампувальному молоті

$$Ц^1_{опт} = \frac{11820}{1000} \cdot 0,72 \cdot 0,9 \cdot 1,15 \cdot \left(1 + \frac{8\%}{100\%}\right) = 9,52 \text{ грн.}$$

Тоді вартість  $S_3$  за формулою (2.1) визначиться:

$$S^1_3 = 176,2 \cdot 9,52 \cdot \left(1 + \frac{7\%}{100\%}\right) - (176,2 - 52) \cdot 2,28 = 1512 \text{ грн.}$$

2 Визначимо вартість заготовки  $S_3^2$ , яка отримана на гідравлічних пресах [4] (див. рис. 2.2):

$$S_3^2 = M_3^2 \cdot Ц_{\text{опт}}^1 \left( 1 + \frac{a_{\text{т.з}}}{100} \right) - (M_3^2 - M_д^1) \cdot Ц_{\text{від}}^1, \quad (2.3)$$

де  $M_3^2 = 110$  кг – маса заготовки, яка отримана на гідравлічному пресі.

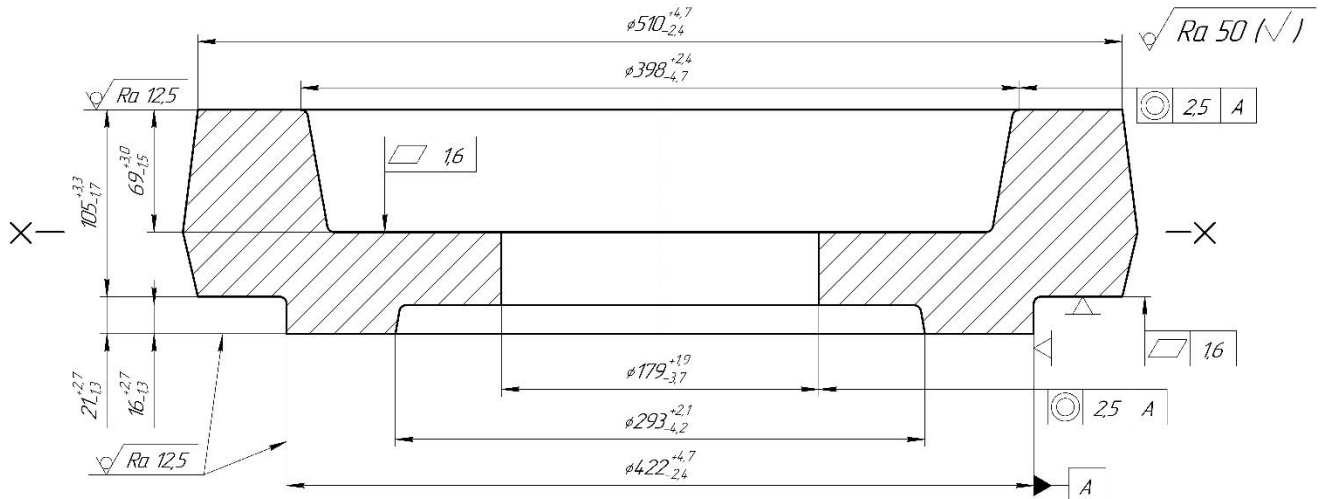


Рисунок 2.2 – Штамповка, яка виготовлена на гідравлічному пресі

Тоді вартість  $S_3^2$  за формулою (2.3) визначиться:

$$S_3^2 = 110,2 \cdot 9,52 \cdot \left( 1 + \frac{7\%}{100\%} \right) - (110,2 - 52) \cdot 2,28 = 990 \text{ грн.}$$

За результатом порівняння  $S_3^1 = 1512 \text{ грн} > S_3^2 = 990 \text{ грн}$  приймаємо спосіб виготовлення заготовки – штамповку на гідравлічному пресі.

*Розрахунок розмірів штампованої заготовки [9].*

1. Штамповка на гідравлічному пресі.
2. Призначається розташування поверхні, за якою рознімаються частини штамп (див. креслення Н17.272.106.01).

3. Призначається клас точності поковки – Т4.

4. Установлюється група стали – М3.

Масова доля вуглецю  $C = 0,2 \%$ . Сумарна маса легуючих елементів:  $0,8 \% \text{ Si} + 0,8 \% \text{ Mn} + 14 \% \text{ Cr} + 0,025 \% \text{ S} + 0,03 \% \text{ P} + 0,2 \% \text{ Ti} + 0,3 \% \text{ Cu} + 0,6 \% \text{ Ni} = 16,8 \% > 5 \%$ .

5. Визначається ступень складності поковки – С.



Визначаємо об'єм фігури:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D_{\text{ср}}^2}{4} \cdot l_{\phi} \cdot 1,05 = \frac{3,14 \cdot 49,8^2 \cdot 11,7}{4} \cdot 1,05 = 23917 \text{ см}^3.$$

Визначаємо об'єм заготовки (поковки):

$$V_3 = V_1 + V_2 - (V_3 + V_4 + V_5) = \frac{3,14 \cdot 99,8^2}{4} \cdot 9,5 + \frac{3,14 \cdot 41^2}{4} \cdot 2,2 - \left( \frac{3,14 \cdot 41^2}{4} \cdot 8 + \frac{3,14 \cdot 30,4^2}{4} \cdot 1,5 + \frac{3,14 \cdot 18^2}{4} \cdot 2,2 \right) = 9195 \text{ см}^3.$$

$$C = \frac{V_3}{V_{\phi}} = \frac{9195}{23917} = 0,385.$$

$0,32 < C = 0,385 \leq 0,63$ , то ступень складності – С2.

6. Визначається маса поковки за формулою

$$M_{\text{п}} = M_{\text{д}} \cdot K_{\text{р}} = 52 \cdot 1,7 = 88,4 \text{ кг},$$

де  $K_{\text{р}} = 1,5-1,8$ , приймаємо  $K_{\text{р}} = 1,7$ .

7. Визначається вихідний індекс (ВІ), ВІ = 18.

8. Визначаються основні і допоміжні припуски для обробки поверхонь на сторону (див. табл. 2.3) та допустимі відхилення розмірів.

Таблиця 2.3 – Припуски і допуски розмірів заготовки

Розмір на кресленні деталі, мм	Шорсткість поверхні Ra, мкм	Основний і додатковий припуск (на сторону), мм	Допуск, мм	Розмір на кресленні заготовки, мм
Ø498	6,3	4,3+0,6+0,8=5,7	7,1(+4,7; -2,4)	Ø510(+4,7; -2,4)
Ø410	1,6	4,3+0,6+0,8=5,7	7,1(+2,4; -4,7)	Ø398(+2,4; -4,7)
Ø190H7	1,6	3,5+0,6+0,8=4,9	5,6(+1,9; -3,7)	Ø180(+1,9; -3,7)
Ø304	3,2	3,8+0,6+0,8=5,2	6,3(+2,1; -4,2)	Ø293(+2,1; -4,2)
Ø410к6	1,6	4,3+0,6+0,8=5,7	7,1(+4,7; -2,4)	Ø422(+4,7; -2,4)
95h9	0,8	3,8+0,6+0,8=5,2 3,8+0,6+0,8=5,2	5,0(+3,3; -1,7)	105(+3,3; -1,7)
80H9	0,8 / 1,6	80x0,8=64 3,3+0,6+0,8=4,7	4,5(+3,0; -1,5)	69(+3,0; -1,5)
22	0,8 / 6,3	3,8+0,6+0,8=5,2 2,7+0,6+0,8=4,1	4,0(+2,7; -1,3)	21(+2,7; -1,3)
15	6,3 / 6,3	15x0,8=12 2,7+0,6+0,8=4,1	4,0(+2,7; -1,3)	16(+2,7; -1,3)

9. Визначаються радіуси зовнішніх і внутрішніх кутів для глибини струмка – 4,0 мм.

10. Визначаються допуски радіусів закруглень – 1 мм; допуск величини зміщення по поверхні рознімання штампа – 1,4 мм.

11. Визначається конфігурація рознімання штампа – П (плоска).

12. Установлюється висота торцевої задирки – 6 мм.

13. Визначаються допустимі відхилення по плоскості – 1,6 мм; допустиме найбільше відхилення від концентричності пробитого в поковки отвору – 2,5 мм; штампувальний уклон на зовнішній поверхні – 7°; на внутрішній поверхні – 10°; допустима величина остаточного обля – 1,6 мм.

За результатами розрахунків виконуємо креслення заготовки (див. креслення Н17.272.106.01).

### 2.3 Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання

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

Вихідні дані: заготовка – штампівка на гідравлічному пресі, виготовлена згідно ГОСТ 7505-89, маса деталі  $M_d = 52$  кг, маса заготовки  $M_z = 110,2$  кг.

1. Вибираємо значення  $R_{z_{i-1}}$  і  $H_{i-1}$  для заготовки:  $R_{z_{i-1}}=200$  мкм;  $H_{i-1} = 100$  мкм [4, 10]. Для півчистої і чистої обробки отвору висота мікронерівностей та величина дефектного шару становлять відповідно:

$R_{z_{i-1}} = 50$  мкм,  $H_{i-1} = 50$  мкм;  $R_{z_{i-1}} = 20$  мкм,  $H_{i-1} = 25$  мкм.

2. Вибираємо значення  $\rho_{i-1}$  заготовки  $\rho_{заг} = 2865$  мкм.

Після чорнового точіння  $\rho_{чорн.т} = 0,06\rho_{заг} = 0,06 \cdot 2865 = 172$  мкм;

після півчистового точіння  $\rho_{п/чист.т} = 0,25\rho_{заг} = 0,25 \cdot 2865 = 143$  мкм;

після чистового точіння  $\rho_{чист.т} = 0,04\rho_{заг} = 0,04 \cdot 2865 = 115$  мкм.

3. Визначаємо величину просторових відхилень  $\varepsilon_{yi}$  чорн.т.

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

де  $\varepsilon_6=0,01$  мм = 10 мкм – допуск радіального биття патрона;

$\varepsilon_3=500$  мкм – похибка закріплення при установці в радіальному напрямі.

Значення  $\varepsilon_{yi}$  п/чист.т для півчистового точіння становить:

$$\varepsilon_{yi \text{ п/чист.т.}} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{10^2 + 100^2} = 100 \text{ мкм,}$$

Значення  $\varepsilon_{yi \text{ чист.т.}} = 0$  (для чистового точіння), тому що, обробка виконується із базуванням і закріпленням в патроні підвищеної точності.

Розрахунок припусків і операційних технологічних розмірів виконаний за програмою «*rigr. ver. 7*» (див. додаток В). Схема припусків і допусків наведена на рисунку 2.3.

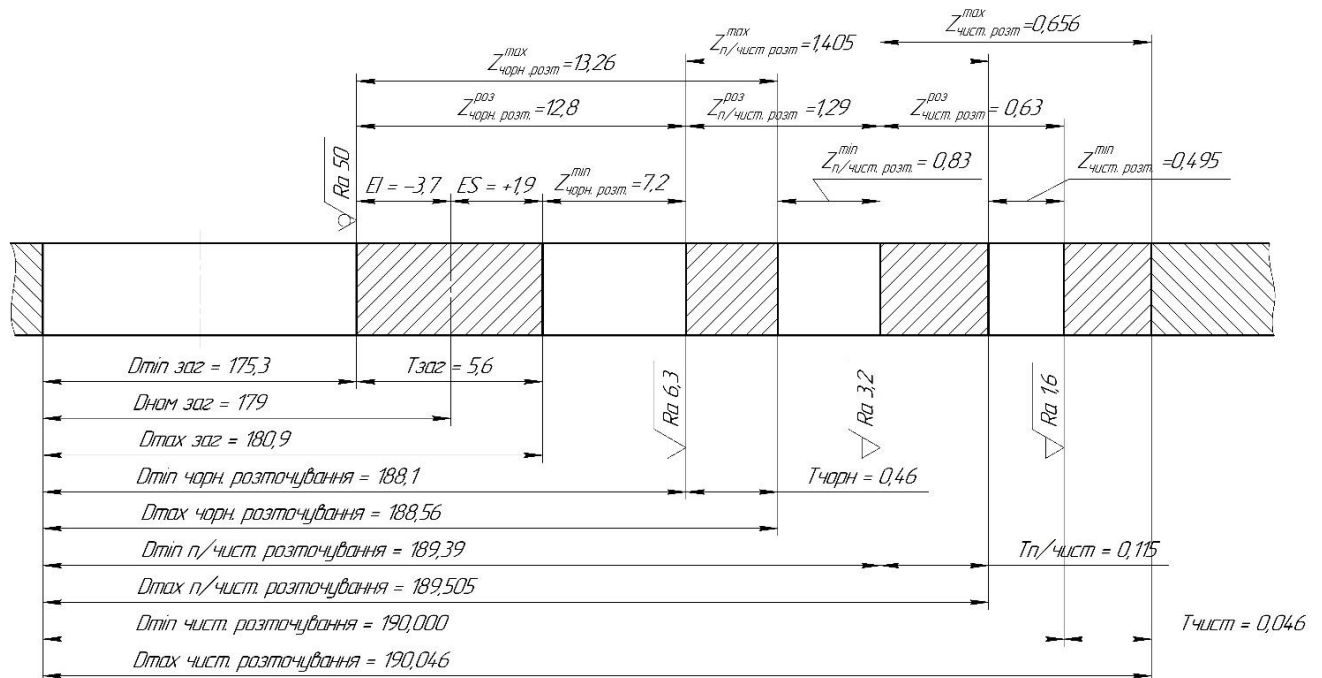


Рисунок 2.3 – Схема припусків на обробку отвору  $\varnothing 190H7(+0,046; 0)$  мм

## 2.4 Призначення та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки

Операція 040 «Токарна з ЧПК». Верстат моделі Vertum 6070с. Схеми базування і закріплення заготовки на установках А і Б наведені на рисунках 2.4 і 2.5. Операція складається із установів А і Б та двох переходів, на яких формується шорсткість торцевих поверхонь  $\varnothing 460/\varnothing 425$  і  $\varnothing 460/\varnothing 410k6$   $R_a = 0,32$  мкм.

На установі А заготовка установлюється на оправку  $\varnothing 190g6$  мм і закріплюється 4-кулачковим несамоцентрувальним токарним патроном (в комплекті верстата). Секція базується по торцю  $\varnothing 460/\varnothing 410k6$  і отвору  $\varnothing 190H7$  мм (див. рис. 2.4). Заготовка кріпиться по  $\varnothing 460(0; -1,55)$  мм чотирма кулачками.

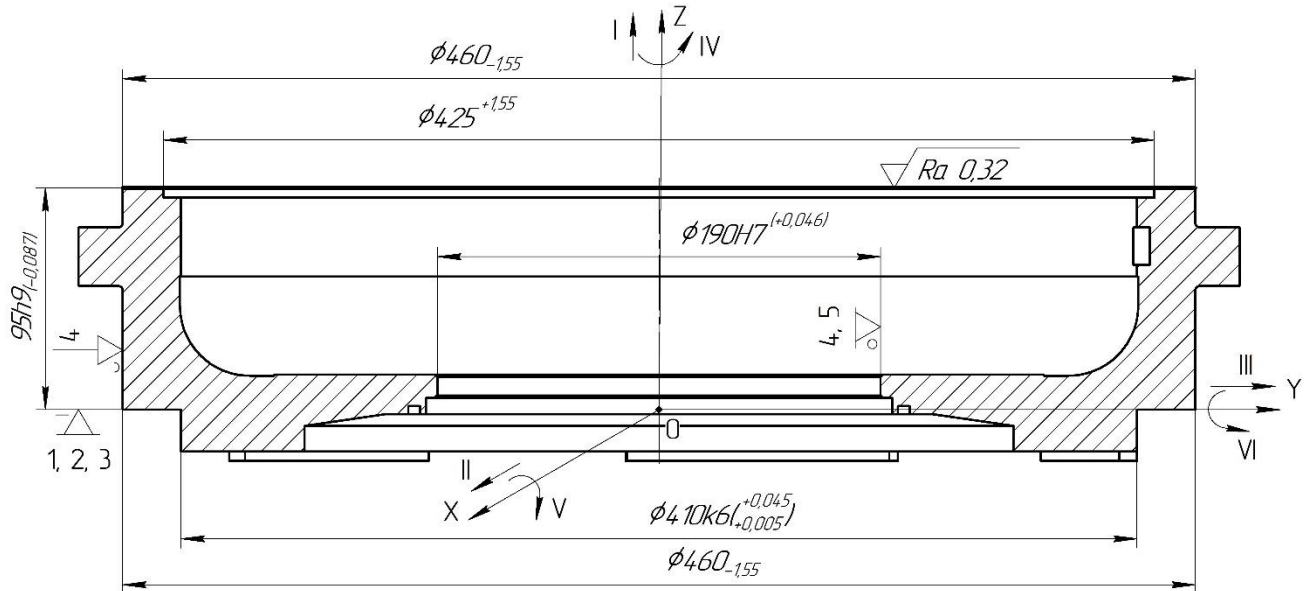


Рисунок 2.4 – Схема установки заготовки на операції 040. Установ А

Обробка поверхні відбувається спеціальним інструментом – алмазним вирівнювачем. Зменшення висоти мікронерівності відбувається в межах їх висоти і входить у поле допуску розміру  $95h9(0; -0,087)$  мм. Тому, похибка базування і закріплення заготовки не впливають на шорсткість оброблювальної поверхні. Класифікація схеми установлення заготовки наведена в таблицях 2.4 і 2.5.

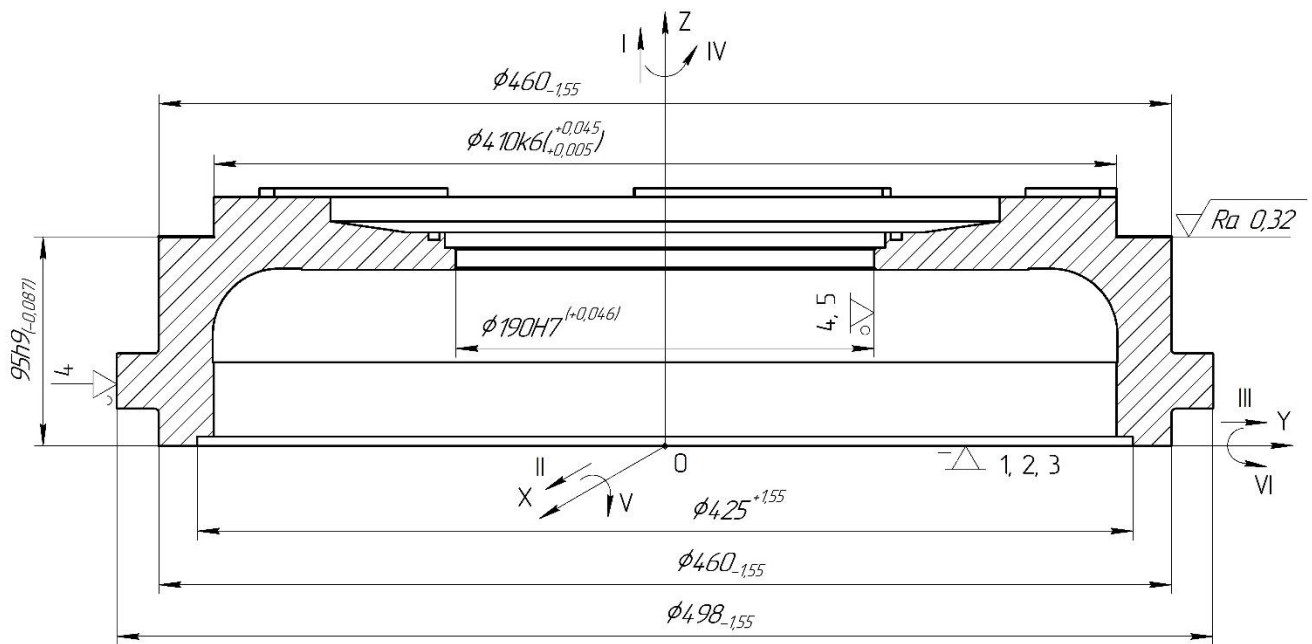


Рисунок 2.5 – Схема базування заготовки на операції 040. Установ Б

Таблиця 2.4 – Ступені позбавлення свободи

Зв'язок	Ступінь свободи	Найменування бази, характер прояву
1, 2, 3	I, V, VI	УБ, явна
4, 5	II, III	ПОБ, явна
6	IV (вакансія)	–

Таблиця 2.5 – 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	
Всього	2	2	1	5-ь зв'язків

На установі Б переустановлена заготовка базується по торцю  $\phi 460/\phi 425$  і отвору  $\phi 190H7$  (див. рис. 2.5) і закріплюється чотирма кулачками по  $\phi 498$  мм. Схеми базування і закріплення аналогічна схемам наведеним на установі А (див. табл. 2.4 і 2.5). Похибка базування і закріплення не впливають на шорсткість оброблювальної поверхні.

Наведені схеми базування і закріплення заготовки на установах А та Б операції 040 «Токарна з ЧПК» приймаються для реалізації.

## 2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

**Операція 035 «Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК».** Для фрезерування пазів секції пропонується оброблювальний центр з ЧПК моделі X.mill 6070с. Характеристика верстата наведена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Характеристика верстата моделі X.mill 6070с

Найменування параметрів	Чисельні дані
1	2
ЧПК	G Plus 450
Розміри робочої поверхні стола, мм	1050 x 500
Т-пази (Кількість x Ширина x Відстань), мм	3 x 18 x 150
Рух по осі X, мм	800
Рух по осі Y, мм	500
Рух по осі Z, мм	550
Відстань «шпиндель – стіл», мм	105 – 655
Швидкість робочого руху, мм/хв	5 – 6000
Швидкість прискореного руху, мм/хв	20000
Найбільша вага заготовки, кг	600
Частота обертання шпинделя, об/хв	5 – 8000
Точність позиціонування стола по осі X, мм	0,025
Точність позиціонування стола по осі Y, мм	0,022
Точність позиціонування стола по осі Z, мм	0,022
Кількість позицій	24
Потужність електродвигуна головного приводу, кВт	11/15
Габаритні розміри (Д x Ш x В), мм:	2430 x 2170 x 2420
Маса, кг	4600

**Операція 040 «Токарна з ЧПК».** Для алмазного вирівнювання двох поверхонь секції пропонується вертикальний токарний верстат з ЧПК моделі Vertum 6070с. Стисла характеристика верстата наведена в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Стисла характеристика верстата моделі Verturn 6070c

Найменування параметрів	Чисельні дані
ЧПК	Fanuc Oi-TC
Найбільший діаметр обертання, мм	800
Найбільший діаметр точіння, мм	600
Найбільша висота точіння, мм	700
Рух по осі X, мм	650
Рух по осі Z, мм	625
Прискорений рух по осі X, м/хв	10
Прискорений рух по осі Z, м/хв	15
Частота обертання шпинделя, об/хв	50 – 2000
Подача, мм/хв	0,5 – 1000
Найбільший крутний момент, Нм	840
Точність обробки поверхонь	IT6 – IT7
Конус шпинделя	A2 – 11
Діаметр патрона, мм	500
Точність позиціювання по осі X, мм	0,018
Точність позиціювання по осі Z, мм	0,02
Потужність головного приводу, кВт	22/26
Устрій для заміни інструменту	Вертикальний
Кількість позиція інструмента	6
Потужність головного приводу, кВт	22/26
Габарити верстата, мм	3350 × 2800 × 3420
Маса верстата, кг	13000

2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального і вимірювального інструментів

*Операція 035 «Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК».*

Для обробки пазів і отворів із різьбою використовується спеціально спроектований пристрій (див. розділ 2.8).

Різальний інструмент:

1) фреза дискова тристороння  $D = 80$  мм;  $B = 16$  мм;  $d = 27H7$ ;  $Z = 18$ ; матеріал фрези Р6М5 ГОСТ 19265-73 [6, т. 82, с. 181]. Умовне позначення: фреза 2214-0329 Р6М5 ГОСТ 3755-78; оправка 6225-0138 ГОСТ 15067-75;

2) фреза торцева  $D(js14) = 40$  мм;  $L = 32$  мм;  $d = 16H7$ ;  $Z = 10$ , тип I; матеріал фрези Р6М5 ГОСТ 19265-73 [11];. Умовне позначення: фреза 2210-0061 Р6М5 ГОСТ 9304-69; оправка 6222-0032 ГОСТ 13785-68;

3) свердло 2301–0388 Р6М5 ГОСТ 2092-77 ( $\varnothing 8,4$  мм);

4) свердло 2301–0400 Р6М5 ГОСТ 2092-77 ( $\varnothing 10,2$  мм);

5) зенківка конічна 2353-0128 Р6М5 ГОСТ 14953-80 ( $\varnothing 16$  мм);

6) зенківка конічна 2353–0133 Р6М5 ГОСТ 14953-80 ( $\varnothing 20$  мм);

7) мітчик 2640–0117 H2 ГОСТ 1604-71 (для М10х1,5-7Н);

8) мітчик 2640–0153 H2 ГОСТ 1604-71 (для М12х1,75-7Н).

Для закріплення свердл використовуються втулки 6112-0713 ГОСТ 22843-77. Мітчики закріплюються в патроні 6161–0101 (0102) ГОСТ 21938-76.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,1-2 ГОСТ 166-89; шаблони R24 і R70 РШ-1 ТУ2-034-228-88; калібри для метричної різьби ПР/НЕ М10х1,5-7Н; М12х1,75-7Н ГОСТ 17756-72; зразки шорсткості ГОСТ 9378-75.

*Операція 040 «Токарна з ЧПК».* Для установки заготовки застосовується спеціальна оправка  $\varnothing 190g6(-0,015; -0,044)$  мм і чотирьох кулачковий несамоцентрувальний токарний патрон, яким комплектується верстат. Діаметр токарного патрона 500 мм.

Інструмент для вирівнювання: ТМ 23510263-09-01.00.00 СК Вирівнювач-1; ТМ 23510263-09-02.00.00 СК Вривнювач-2 (дивись додатки М і Н).

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05 ГОСТ166-89; профілограф-профілометр моделі 240 ГОСТ 9504-80.

## 2.7 Визначення режимів обробки та технічне нормування операцій

*Операція 035 «Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК».* Режим різання розраховується для фрезерування паза розмірами  $16 \times 5,5$  мм (установ А). Розрахунок режимів різання виконаний за методикою джерела [11, 12].

Різальний інструмент: фреза 2241–0153 Р6М5 ГОСТ 1669-78;  $D = 80$  мм;  $B = 16$  мм;  $d = 27H7$  мм;  $Z = 10$ .



1 Ширина фрезерування  $B = 16$  мм; глибина фрезерування  $t = 5,5$  мм.

2 Подача  $S_z = 0,15-0,25$  мм/зуб [12]. Приймаємо  $S_z = 0,2$  мм/зуб.

3 Швидкість різання  $V$ , м/хв:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} = \frac{48,5 \cdot 80^{0,25} \cdot 0,841}{180^{0,2} \cdot 5,5^{0,3} \cdot 0,2^{0,4} \cdot 16^{0,1} \cdot 10^{0,1}} = 32,1 \text{ м/хв},$$

де  $C_v = 48,5$ ;  $q = 0,25$ ;  $x = 0,3$ ;  $y = 0,4$   $u = 0,1$ ;  $p = 0,1$ ;  $m = 0,2$ ;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} = 1,051 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,841.$$

$$K_{mv} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0,85 \left( \frac{750}{648} \right)^{1,45} = 1,051,$$

де  $\sigma_B = 648$  МПа – межа міцності матеріалу;

$K_r = 0,85$ ;  $n_v = 1,45$ ;  $K_{iv} = 0,8$ ;  $K_{iv} = 1,0$ .

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 32,1}{3,14 \cdot 80} = 127,8 \text{ об/хв}.$$

4 Сила різання  $P_z$  (Н):

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z \cdot K_{mp}}{D^q \cdot n^w} =$$
$$= \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 5,5^{0,86} \cdot 0,2^{0,72} \cdot 16^1 \cdot 10 \cdot 0,96}{80^{0,86} \cdot 127,8^0} = 3290 \text{ Н},$$

де  $C_p = 68,2$ ;  $x = 0,86$ ;  $y = 0,72$ ;  $u = 1,0$ ;  $q = 0,86$ ;  $w = 0$ ;

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

де  $n_p = 0,3$ .

Визначаємо складові сили різання при фрезеруванні:

$$P_h : P_z = 1,1 - 1,2; \quad P_h = P_z \cdot 1,2 = 3290 \cdot 1,2 = 3948 \text{ Н};$$

$$P_v : P_z = 0 - 0,25; \quad P_v = P_z \cdot 0,25 = 3290 \cdot 0,25 = 823 \text{ Н};$$

$$P_y : P_z = 0,4 - 0,6; \quad P_y = P_z \cdot 0,6 = 3290 \cdot 0,6 = 1974 \text{ Н};$$

$$P_x : P_z = (0,2-0,4) \cdot \text{tg } \omega; \quad P_x = P_z \cdot 0,4 \cdot \text{tg } 30^\circ = 3290 \cdot 0,4 \cdot 0,325 = 760 \text{ Н}.$$

Визначаємо складову сили різання, за якою розраховується оправка на вигін:

$$P_{yz} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2} = \sqrt{1974^2 + 3290^2} = 3837 \text{ Н}.$$

5 Хвилинна подача  $S_x$  (мм/хв):

$$S_x = S_z \cdot Z \cdot n_{\text{п}} = 0,2 \cdot 10 \cdot 127,8 = 255,6 \text{ мм/хв.}$$

6 Крутний момент на шпинделі  $M_{\text{кр}}$  (Н·м):

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{3290 \cdot 80}{2 \cdot 1000} = 131,6 \text{ Нм.}$$

7. Потужність різання (ефективна),  $N_e$  (кВт):

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_{\phi}}{1020 \cdot 60} = \frac{3290 \cdot 32,1}{1020 \cdot 60} = 1,73 \text{ кВт.}$$

Порівняємо потужність різання (ефективну) із потужністю верстата

$$N_{\text{в}} \cdot \eta = 11 \cdot 0,8 = 8,8 \text{ кВт} > N_e = 1,73 \text{ кВт} - \text{обробка виконується.}$$

8 Основний (машинний) час  $T_{01}$ , обробки паза:

$$T_{01} = \frac{L_{p1} \cdot i_1}{S_m} = \frac{8 \cdot 1}{255,6} = 0,032 \text{ хв,}$$

де  $L_{p1} = l_o + l_{\text{вр}} + l_{\text{пер}} = 5,5 + 2,5 + 0 = 8$  мм;  $l_o = 5,5$  мм – довжина фрезерування;  $l_{\text{вр}} = 2,5$  мм – величина врізання;  $l_{\text{пер}} = 0$  – величина перебігу;  $i_1 = 1$  – кількість ходів інструмента.

Режим різання для фрезерування шести пазів визначається табличним способом:

$$t = 4 \text{ мм; } B = 7,5 \text{ мм; } S_z = 0,08 \text{ мм/зуб; } V = 39,6 \text{ м/хв; } n = 315 \text{ об/хв;}$$

$$S_m = 252 \text{ мм/хв; } M_{\text{кр}} = 78,7 \text{ Н·м; } N_e = 2,54 \text{ кВт; } T_{02} = 1,71 \text{ хв.}$$

Режими різання для обробки шести отворів з різьбою визначається табличним способом і наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Режими різання на операції 035

Різальний інструмент, матеріал	t, мм	i	S, мм/об	$S_m$ , мм/хв	n, об/хв	V, м/хв	$M_{\text{кр}}$ , Нм	Час $T_{03}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Свердло Ø10,2; P6M5	5,1	1	0,125	101,6	800	25,6	6,21	0,89
Свердло Ø8,4; P6M5	4,2	1	0,1	100	1000	26,4	3,52	0,62
Зенківка Ø20; P6M5	1,13	1	0,316	202	640	37,2	1,47	0,05
Зенківка Ø16; P6M5	1,13	1	0,316	202	800	40,2	1,16	0,05

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мітчик M12; P6M5	0,63	1	1,75	560	320	12,1	20,3	0,17
Мітчик M12-Н7; P6M5	0,27	1	1,75	560	320	12,1		0,15
Мітчик M10; P6M5	0,56	1	1,5	480	320	10,1	12,5	0,07
Мітчик M10-7H; P6M5	0,24	1	1,5	480	320	10,1		0,07
Всього								2,07

Загальний основний  $T_0$  (машинний) час операції:

$$T_0 = T_{01} + T_{02} + T_{03} = 0,032 + 1,71 + 2,07 \cong 3,8 \text{ хв.}$$

*Операція 040 «Токарна з ЧПК».* На технологічних переходах А і Б операції оброблюються торці  $\varnothing 460/\varnothing 425$ ;  $\varnothing 460/\varnothing 410k6$  і забезпечується шорсткість поверхні  $R_a = 0,32$  мкм. Режим вирівнювання розраховується для переходу А. Оброблювальний інструмент – алмазний вирівнювач [5].

1 Глибина впровадження вирівнювача  $h = 0,01$  мм.

2 Подача (поперечна) для вирівнювання заданої ширини торцевої поверхні  $\varnothing 460/\varnothing 425$  (17,5 мм) встановлюється мінімально допустима паспортними даними верстата  $S = 0,5$  мм/хв (див. табл. 2.7).

3 Швидкість вирівнювання при обробки алмазним вирівнювачем рекомендується призначати в межах 25 – 185 м/хв [5]. Приймаємо швидкість вирівнювання  $V = 185$  м/хв, тоді частота  $n$  обертів заготовки визначиться за формулою

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 185}{3,14 \cdot 460} = 128,1 \text{ об/хв.}$$

4 При вирівнюванні плоских поверхонь діє сила вирівнювання  $P$ , яка розкладається на три складові: тангенціальну  $P_z$ , нормальну  $P_y$  і силу подачі  $P_x$ . Складові сили вирівнювання розраховуються за формулами [5]:

$$P_x = C_x \cdot R^{0,5} \cdot h^{1,5} \cdot \sigma_{0,2};$$

$$P_y = C_y \cdot R \cdot h \cdot \sigma_{0,2};$$

$$P_z = C_z \cdot R^{0,5} \cdot h^{1,5} \cdot \sigma_{0,2},$$

де  $C_x = 33,9$ ;  $C_y = 24,9$ ;  $C_z = 30$  – коефіцієнти, які враховують умови обробки сталльної заготовки алмазним інструментом [5];

$R = 2$  мм – радіус алмазного наконечника інструмента;

$h = 0,01$  мм – глибина впровадження інструмента в метал;

$\sigma_{0,2} = 441$  МПа – межа текучості матеріалу заготовки (див. табл. 1.4).

$$P_z = 30 \cdot 2^{0,5} \cdot 0,01^{1,5} \cdot 441 = 18,7 \text{ Н};$$

$$P_y = 24,9 \cdot 2 \cdot 0,01 \cdot 441 = 219,7 \text{ Н};$$

$$P_x = 33,9 \cdot 2^{0,5} \cdot 0,01^{1,5} \cdot 441 = 21,2 \text{ Н}.$$

Основною силою, яка буде потрібний тиск в зоні обробки, є нормально складова сили вирівнювання  $P_y$ . Складові сили  $P_y$  і  $P_z$  в 10-12 разів менше нормальної сили вирівнювання. Тому для розрахунку сили закріплення заготовки на оздоблювальній операції приймається сила  $P_y$ .

7 Потужність обробки вирівнюванням  $N$  (кВт) визначається за формулою:

$$N = \frac{P_y \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{219,7 \cdot 185}{1020 \cdot 60} = 0,67 \text{ кВт}.$$

Порівняємо  $N_b \cdot \eta = 22 \cdot 0,75 = 16,5 \text{ кВт} > N = 0,67 \text{ кВт}$  – обробка виконується.

8 Основний (машинний) час технологічного переходу  $T_{01}$  (хв) визначається за формулою:

$$T_{01} = \frac{L_p \cdot i}{S} = \frac{(l_0 + l_{yp} + l_{nep}) \cdot i}{S} = \frac{(17,5 + 0,5 + 0,5) \cdot 1}{0,5} = 37 \text{ хв},$$

де  $l_0 = 17,5$  мм – ширина торцевої оздоблювальної поверхні за кресленням;

$l_{yp} = l_{nep} = 0,5$  мм – відповідно величини урізання та перебігу інструмента;

$S = 0,5$  мм/хв;  $i = 1$  – кількість ходів інструмента.

Розраховані режими обробки за двома переходами наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Режимы вирівнювання на операції 040

Оброблювальна поверхня	h, мм	i	S, мм/хв	n, об/хв	V, м/хв	L <sub>p</sub> , мм	T <sub>o</sub> , хв
Торець Ø460/Ø425	0,01	1	0,5	128,1	185	18,5	37
Торець Ø460/Ø410к6						26	52
Всього							89

Операція 035 «Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК». Штучно-калькуляційний час  $T_{ш-к}$  розраховується за формулою [11]:

$$T_{ш-к} = \frac{T_{п-з}}{N_{п}} + T_0 + T_d + T_{обс} + T_{пер},$$

де  $T_0 = 3,8$  хв – основний (машинний) час операції;

$N_{п} = 23$  шт – кількість деталей в партії.

Підготовчо-завершальний час  $T_{п-з}$ :

$$T_{п-з} = 12 + 0,8 + 3,5 + 17 = 33,3 \text{ хв},$$

де 12 хв – час установлення пристрою на столі верстата; 0,8 хв – час автоматичного установлення (переустановлення) фрез, свердл, зенківок, мітчиків на верстаті з ЧПК; 3,5 хв – час отримання пристроїв, інструмента до початку роботи і віддання їх після обробки партії деталей; 17 хв – час налагодження керуючої програми.

Допоміжний час  $T_d$  визначається за формулою:

$$\begin{aligned} T_d &= 1,85(T_{уз} + T_{зв} + T_{кер} + T_{вим}) \cdot 2 = \\ &= 1,85(0,38 + 0,024 + 0,2 + 1,3) \cdot 2 = 7,1 \text{ хв}, \end{aligned}$$

де  $T_{уз} = 0,38$  хв – час установлення та зняття деталі в спеціальному пристрої;

$T_{зв} = 0,024$  хв – час закріплення та відкріплення деталі в спеціальному пристрої;

$T_{кер} = 0,01 + 0,04 + 0,15 = 0,2$  хв – час керування верстатом (вмикання, рух робочих частин верстата);

$T_{вим} = 1,3$  хв – час вимірювання розмірів поверхні заготовки (штангенциркуль);

2 – кількість установів (А і Б) в операції;

1,85 – коефіцієнт, який враховує умови дрібносерійного виробництва.

Оперативний час  $T_{оп}$  (хв) визначається за формулою:

$$T_{оп} = T_0 + T_d = 3,8 + 7,1 = 10,9 \text{ хв}.$$

Час обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби працюючого:

$$T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}} = 9\% \cdot T_{\text{оп}} = 0,09 \cdot 10,9 = 0,98 \text{ хв},$$

де 9% – процент обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби працюючого [2, т. 6.1, с. 214].

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{33,3}{23} + 3,8 + 7,1 + 0,98 = 13,4 \text{ хв}.$$

Операція 040 «Токарна з ЧПК». Штучно-калькуляційний час  $T_{\text{ш-к}}$  операції розраховується за формулою [11]:

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{T_{\text{п-з}}}{N_{\text{п}}} + T_{\text{o}} + T_{\text{д}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}},$$

де  $T_{\text{o}} = 89$  хв – основний (машинний) час операції;

Підготовчо-завершальний час  $T_{\text{п-з}}$  складається із устанавлення алмазних вирівнювачів у супорт – 1,7 хв; отримання інструмента, пристрою до початку та віддання їх після закінчення обробки партії заготовок – 10 хв.

$$T_{\text{п-з}} = 1,7 + 10 = 11,7 \text{ хв}.$$

Допоміжний час  $T_{\text{д}}$  визначається за формулою:

$$T_{\text{д}} = 1,85(T_{\text{ус}} + T_{\text{зв}} + T_{\text{кер}} + T_{\text{вим}}) = 1,85(0,42 + 0,24 + 0,2 + 1,1) = 3,63 \text{ хв},$$

де  $T_{\text{ус}} = 0,42$  хв – час устанавлення, переустанавлення, зняття заготовки в трикулачковому токарному патроні;

$T_{\text{зв}} = 0,24$  хв – час закріплення та відкріплення заготовки в трикулачковому токарному патроні;

$T_{\text{кер}} = 0,2$  хв – час керування верстатом;

$T_{\text{вим}} = 1,1$  хв – час вимірювання шорсткості поверхонь;

Оперативний час  $T_{\text{оп}}$  (хв) визначається за формулою:

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{o}} + T_{\text{д}} = 89 + 3,63 = 92,63 \text{ хв}.$$

Час обслуговування робочого місця і перерва працюючого:

$$T_{\text{обс}} + T_{\text{пер}} = 7\% \cdot T_{\text{оп}} = 0,07 \cdot 92,63 = 6,48 \text{ хв},$$

де 7% – процент обслуговування робочого місця, відпочинку та особистої потреби працюючого.

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{11,7}{23} + 89 + 3,63 + 6,48 \cong 100 \text{ хв}.$$

## 2.8 Проектування верстатного пристрою

### 2.8.1 Обґрунтування мети операції і завдання для проектування

На установі А операції 035 «Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК» фрезерується один паз  $16 \times 5,5$  мм. На установі Б фрезеруються шість пазів розташованих під кутом  $26^\circ 30'$  між собою та оброблюються шість різьбових отворів М12-7Н і М8-7Н. Обробка поверхонь секції виконується на оброблювальному центрі з ЧПК моделі X.mill 900 В, потужністю  $N = 11$  кВт. Розміри робочої поверхні стола  $1050 \times 500$  мм. Стіл має три пази шириною  $18H7$  мм, відстань між пазами – 150 мм.

Аналіз режимів різання застосованих на операції визначив найбільш несприятливий режим обробки – фрезерування паза  $16 \times 5,5$  мм.

$B = 16$  мм;  $t = 5,5$  мм;  $S_z = 0,2$  мм/зуб;  $S_x = 255,6$  мм/хв;  $V = 32,1$  м/хв;  $n = 127,8$  об/хв;  $P_z = 3290$  Н;  $P_h = 3948$  Н;  $P_v = 823$  Н;  $P_y = 1974$  Н;  $P_x = 760$  Н;  $N = 1,73$  кВт.

Аналіз наведених даних дозволив сформулювати завдання для проектування верстатного пристрою.

1. Розробити конструкцію пристрою, яка б реалізовувала запропоновану схему базування і закріплення заготовки.
2. Забезпечити надійне закріплення, швидке установлення та зняття заготовки, її переустановлення за час виконання технологічної операції.
3. Забезпечити строк експлуатації пристрою за час виготовлення заданої виробничої програми заготовок.

### 2.8.2 Розробка і обґрунтування схем базування і закріплення заготовки

На установі А заготовка базується по торцю  $\phi 460/\phi 410k6$ , отвору  $\phi 190H7$  та «лиски», яка знаходиться на відстані 248 мм від осі деталі. Заготовка позбавлена шести ступенів свободи. На установі Б заготовка переустановлюється і базується по торцю  $\phi 460/\phi 425$ , отвору  $\phi 190H7$  та «лиски». Запропоновані схеми базування заготовки на двох установках можна реалізувати

в конструкції пристрою у вигляді корпусу із плоскою поверхнею і циліндричною жорсткою оправкою, зробленого як одна деталь. Базування заготовки по поверхні «лиски» передбачає наявність у пристрою рухомого самостійно установлюваного упору, який позбавляє на установі Б шосту ступінь свободи – кутове розташування заготовки.

Закріплювати заготовку передбачається двома затискачами. Затискач є автономним виробом і працює від гідравлічного приводу. Конструкція затискача має мінімальні габаритні розміри і його можна установлювати на будь-якій кутовій відстані від іншого затискача. Пропонується установлювати їх на кутовій відстані  $180^\circ$  один від одного.

Торцеві поверхні  $\phi 460/\phi 425$  (установ А) і  $\phi 460/\phi 410k6$  (установ Б) використовуються для закріплення заготовки. Запропонована схема закріплення заготовки забезпечить достатню жорсткість ТС при одночасній дії сил різання і закріплення. Напрямок вектору сили закріплення буде компенсуватися силами реакції опорної поверхні пристрою. Застосування автономних гідравлічних приводів двосторонньої дії, дає підставу вважати пристрій універсально-налагоджувальним та компактним (невеликі габарити стандартного приводу).

Розглянемо дію сил різання при фрезерування паза  $16 \times 5,5$  мм. На заготовку діють складові сили різання при її обробленні дисковою тристоронньою фрезою:  $D = 80$  мм;  $B = 16$  мм;  $d = 26$  мм;  $Z = 10$  (див. рис. 2.6).



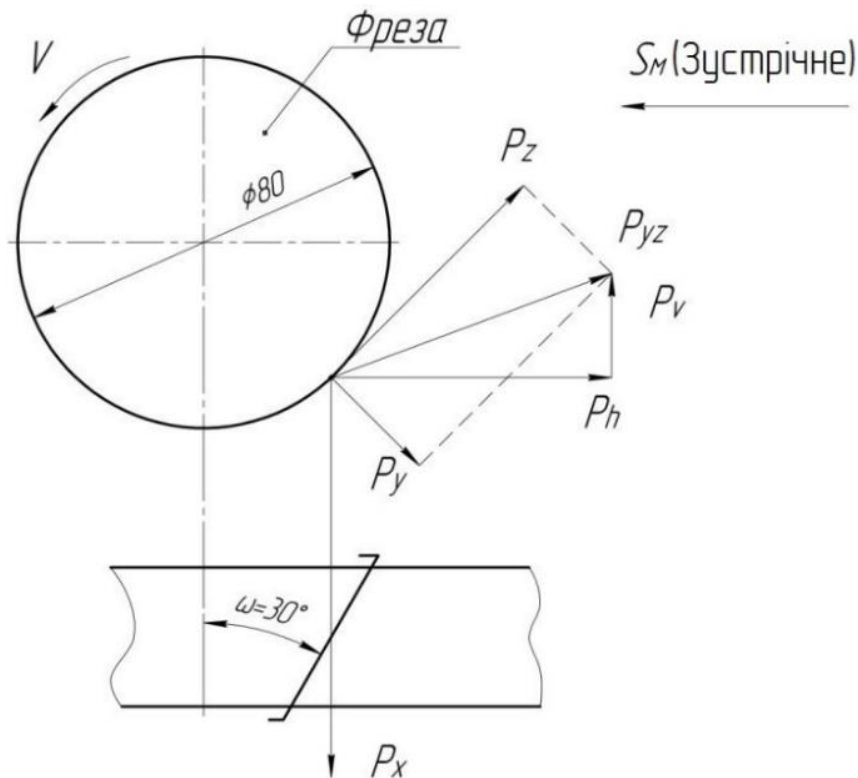


Рисунок 2.6 – Схема дії сил при фрезеруванні паза розміром  $16 \times 5,5$  мм

Найбільша за номінальною величиною сила  $P_h = 3948$  Н прямує «виштовхати» заготовку із пристрою. Сила  $P_x$  прямує притиснути заготовку до кільцевої поверхні корпусу і її напрям співпадає з напрямом сили закріплення  $P_3$ . Тому, розрахунок сили  $P_3$  необхідно виконувати за величиною силою  $P_h$ , із використанням формули

$$P_3 = \frac{K \cdot P_h}{f_1 + f_2} = \frac{3,24 \cdot 3948}{0,16 + 0,16} = 40 \text{ кН},$$

де  $K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 3,24$  – коефіцієнт запасу [13], який враховує похибку розрахунків  $K_0 = 1,5$ ; наявність випадкових нерівностей на поверхні заготовки  $K_1 = 1$ ; збільшення сил різання від затуплення різального інструмента  $K_2 = 1,8$ ; збільшення сил різання при переривчастому різанні  $K_3 = 1,2$ ; постійність затискних сил гідравлічного приводу  $K_4 = 1$ ; розташування рукояток керування  $K_5 = 1$ ; наявність моментів, які прямують повернути заготовку  $K_6 = 1$ ;

$P_h = 3948$  Н – складова сили різання;

$f_1 = f_2 = 0,16$  – коефіцієнти тертя відповідно між установочною поверхнею пристрою і заготовкою, та поверхнями затискачів і заготовкою.

Передбачається заготовку закріплювати двома затискачами. Тоді сила закріплення одного затискача становить

$$P_{30} = P_3/2 = 40/2 = 20 \text{ кН.}$$

Визначимо параметри гідравлічного циліндра за формулою:

– при поданні мастила в поршневу порожнину (сила штовхання):

$$D_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{P_{30}}{0,785 \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot p_0}} = \sqrt{\frac{20000}{0,785 \cdot 0,93 \cdot 10}} = 53 \text{ мм};$$

– при поданні мастила в штокову порожнину (сила тяги):

$$D_{\text{т}} = \sqrt{\frac{P_{30}}{0,785 \cdot \eta_{\text{мех}} \cdot p_0} + d^2} = \sqrt{\frac{20000}{0,785 \cdot 0,93 \cdot 10} + 18^2} = 56 \text{ мм},$$

де  $p_0 = 10$  МПа – номінальний тиск в гідравлічному циліндрі двосторонньої дії згідно ГОСТ 19899-74;

$\eta_{\text{мех}} = 0,93$  – механічний ККД.

Приймаємо гідравлічний циліндр двосторонньої дії згідно ГОСТ 19899-74 з діаметром циліндра  $D_{\text{ц}} = 63$  мм, ходом поршня 16 мм. Конструкція пристрою наведена на кресленні ТМ 23510263-07-00.00 СК.

### 2.8.3 Розрахунок точності елементів пристрою

Точність ширини  $16(+0,43; 0)$  мм і глибини  $5,5 \pm 0,15$  мм паза залежить від точності розміру ширини фрези  $B = 16(0; -0,18)$  мм та точності переміщення стола верстата в напрямку подачі  $S_{\text{м}}(\pm 0,05)$  мм.

Точність паралельного розташування бокових поверхонь паза відносно установчої поверхні заготовки залежить від паралельного розташування кільцевої поверхні пристрою відносно площини його підвалини. Наведений розрахунковий параметр визначається за формулою

$$T_{\text{пр}} \leq T_{\text{д}} - k \sqrt{(k_{\text{Т1}} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_1^2 + \varepsilon_{\text{пер}}^2 + \varepsilon_{\text{уст}}^2 + \varepsilon_{\text{обр}}^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2},$$

де  $T_{\text{пр}}$  – допуск паралельності розташування кільцевої поверхні корпусу відносно площини його підвалини;

$T_d = 258$  мкм – допуск паралельного розташування бокових поверхонь паза відносно установчої поверхні  $\phi 460/\phi 425$  заготовки;

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

$k_{T1} = 1,2$  – коефіцієнт корекції;

$\varepsilon_6 = 0$  – похибка базування (вимірювальна і технологічна бази суміщені);

$\varepsilon_3 = 0$  – похибка закріплення заготовки (сили закріплення направлені перпендикулярно до оброблювального пазу);

$\varepsilon_i = 0$  – похибка зносу установчих елементів (рівномірний знос);

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

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

$\varepsilon_{\text{обр}} = k_{T2} \cdot \omega = 0,6 \cdot 110 = 66$  мкм;  $k_{T2} = 0,6$  – коефіцієнт, який враховує імовірність появи похибки обробки;  $\omega = 110$  мкм (IT11) – середня економічна точність обробки (фрезерування пазів);

$\varepsilon_{\text{поз}} = 50$  мкм – похибка позиціонування шпинделя.

$$T_{\text{пр}} \leq 258 - 1,2 \sqrt{(1,2 \cdot 0)^2 + 0^2 + 0^2 + 100^2 + 50^2 + 66^2 + 50^2} = 91 \text{ мкм.}$$

Приймаємо  $T_{\text{пр}} = 0,08$  мм і заносим в технічні вимоги креслення.

#### 2.8.4 Опис конструкції та роботи пристрою

Пристрій складається із корпусу 2 і двох гідравлічних циліндрів 1 з затискачами, які мають можливість обертатися на кут  $90^\circ$  при їх зворотно-поздовжньому переміщенню в межах руху штока з поршнем. Мастило в робочі порожнини гідравлічних циліндрів надходить по трубопроводам від гідравлічної станції верстата. Напрямок потоку рідини регулюється розподільним краном.

Заготовка установлюється на кільцеву поверхню корпусу і оправку нижньою посадочною поверхнею. Далі вмикається розподільний кран і мастило із трубопроводу надходить в без штокову порожнину гідравлічних циліндрів,

затискачі одночасно рухаються вниз і обертаються на кут  $90^\circ$ , а заготовка закріплюється затискачами. Після обробки паза (установ А), рукоятка розподільного крана установлюється в положення, за яким мастило надходить в штокову порожнину гідравлічних циліндрів, а мастило із порожнини поршня зливається в бак верстата. Заготовка переустановлюється в положення, за яким отвір заготовки  $\varnothing 190H7$  базується по верхній частині поверхні оправки (установ Б). Далі заготовка закріплюється затискачами і відбувається обробка шести пазів та шести різьбових отворів.

Конструкція пристрою проста, надійність його роботи висока. Керування пристроєм займає незначну кількість часу на допоміжні прийоми при налагодженні і не потребує високої кваліфікації верстатника.

## 2.9 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

### 2.9.1 Обґрунтування мети операції і завдання для проектування

Згідно технічних вимог креслення Н17.272.106.01 необхідно виконати контроль радіального биття  $\varnothing 410k6(+0,045; +0,005)$  і двох торцевих поверхонь  $\varnothing 460/\varnothing 410k6$  і  $\varnothing 395H9/\varnothing 304$  відносно поверхні отвору  $\varnothing 190H7(+0,046; 0)$  в межах відповідно 0,04 мм і 0,03 мм.

За вихідними даними річний об'єм випуску виробів  $N=500$  штук, тип виробництва – дрібносерійний, такт випуску деталей при двозмінній роботі підприємства  $\tau=484$  хв. Виконується 100% контроль всього об'єму випуску виробів, контроль виконується на контрольному столі після зняття деталі з верстата.

Виконаємо аналіз конструкції деталі на технологічність вимірювання. Базовими поверхнями, якими деталь орієнтується при установленні її в контрольно-вимірювальний пристрій (КВП), будуть торець  $\varnothing 460/\varnothing 425$  – установча база, а також отвір  $\varnothing 190H7$  – подвійна опорна база. Установча база позбавляє деталь трьох ступенів свободи, а подвійна опорна – двох. Разом базові

поверхні позбавляють деталь п'яти ступенів свободи, що достатньо для вимірювання радіального биття інших поверхонь секції.

Базові поверхні доступні, відкриті і потребують при проектуванні конструкції КВП застосування обертового стола із точно виконаною кільцевою поверхнею та розтискної гідро-пластмасової оправки, яка одночасно із базуванням буде виконувати функцію закріплення деталі (див. рис. 2.7).

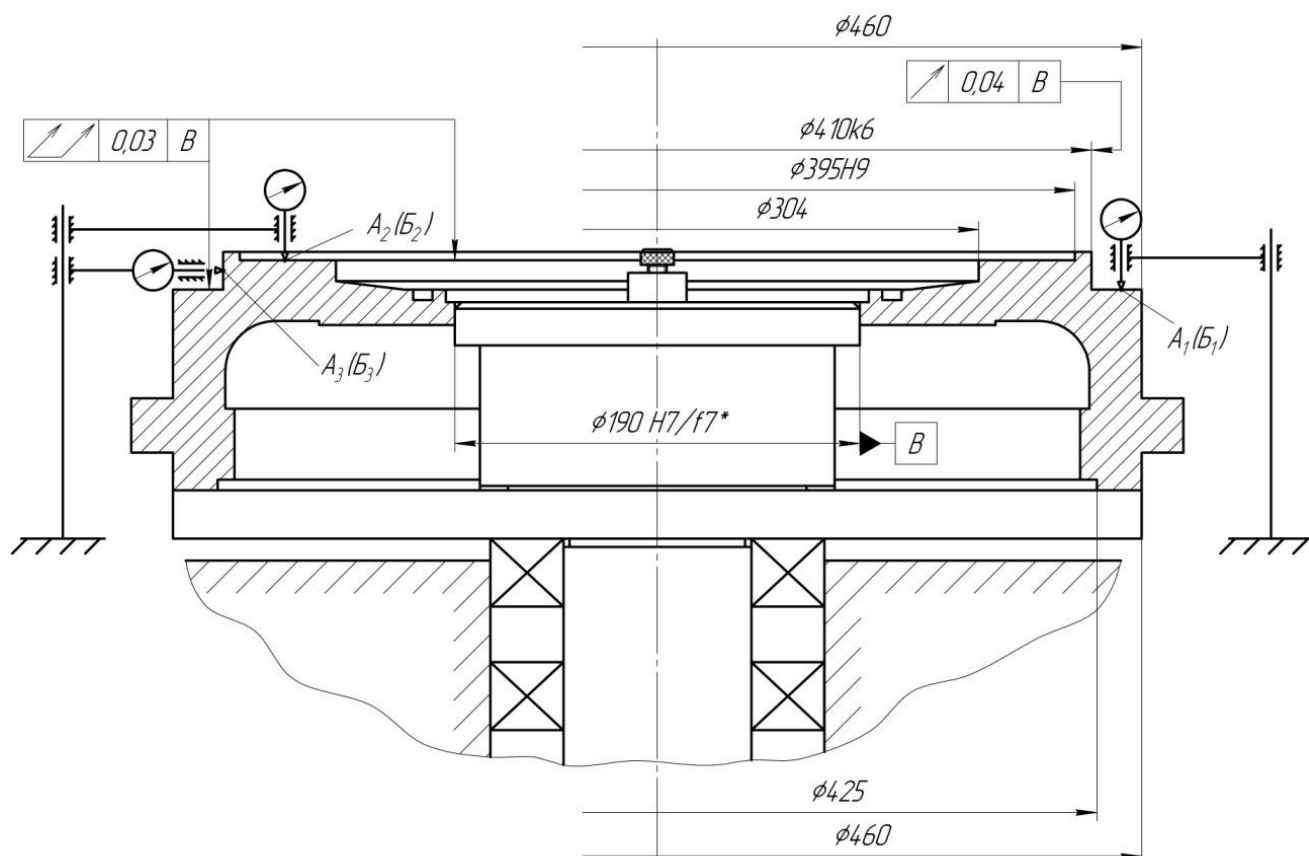


Рисунок 2.7 – Схема вимірювання радіального биття поверхонь деталі

Торцеві поверхні  $\phi 460/\phi 410k6$  і  $\phi 395H9/\phi 304$ , а також циліндрична поверхня  $\phi 410k6$ , будуть контактувати з індикаторами контролю. Ці поверхні не обмежать використання індикаторів на всій їх площі.

Згідно ГОСТ 20736-75 приймається нормальний режим контролю. Показники контролю: по об'єму – безперервний; за часом – постійний; по структурі – однократний. Перевіряється 100% деталей.

Контрольними точками вимірювання будуть довільні точки торцевих поверхонь  $\varnothing 460/\varnothing 410k6$  і  $\varnothing 395H9/\varnothing 304$ , та циліндричної поверхні  $\varnothing 410k6$ . Вихідними точками  $A_1, A_2, A_3$  будуть точки дотику індикаторів із поверхнями деталі на початку вимірювання. Кінцевими – точки деталі  $B_1, B_2, B_3$ , при її обертанні на кут  $360^\circ$  навколо своєї осі (див. рис. 2.7).

При обертанні деталі на кут  $360^\circ$  треба фіксувати найбільше відхилення стрілок індикаторів і тоді можна порівнювати із заданим радіальним биттям контрольованих поверхонь відносно поверхні отвору В.

Для проєктування КВП наведемо вихідні дані контрольованих поверхонь.

Поверхня  $\varnothing 410k6$ : квалітет точності – шостий;  $ES=+0,008$  мм;  $EI=-0,032$  мм;  $T_{\varnothing 410}=0,04$  мм; шорсткість  $R_a=1,6$  мкм. Точність форми циліндричної поверхні не задана і тому вона приймається із умови

$$\Delta_{\phi 410}=0,4T_{\varnothing 410} = 0,4 \cdot 0,04=0,016 \text{ мм.}$$

Торцева поверхня  $410/410k6$ : шорсткість  $R_a=0,8$  мкм. Точність форми поверхні не задана і тому приймається із умови

$$\Delta_{\phi}=0,4T_{95H9} = 0,4 \cdot 0,087=0,035 \text{ мм.}$$

Торцева поверхня  $395H9/304$ : шорсткість  $R_a=1,6$  мкм. Точність форми поверхні не задана і тому приймається із умови

$$\Delta_{\phi}=0,4T_{18Is14} = 0,4 \cdot 0,43=0,172 \text{ мм.}$$

Точність (допуски) форми зазначених поверхонь та їх розташування розраховані за вимогою ГОСТ 25069-81.

Наведемо вихідні дані базових поверхонь.

Поверхня  $\varnothing 190H7$ : квалітет точності – сьомий;  $ES=+0,046$  мм;  $EI=0$ ;  $T_{\varnothing 190H7}=0,046$  мм; шорсткість  $R_a=1,6$  мкм. Точність форми поверхні не задана і тому приймається із умови

$$\Delta_{\phi 190}=0,4T_{\varnothing 190H7} = 0,4 \cdot 0,046=0,0184 \text{ мм.}$$

Торцева поверхня  $\varnothing 460/\varnothing 425$ : шорсткість  $R_a=0,32$  мкм. Точність форми поверхні не задана і тому приймається із умови

$$\Delta_{\phi}=0,4T_{95H9}=0,4 \cdot 0,087=0,035 \text{ мм.}$$

Деталь віднесена до тіл обертання; за технологічної ознаки – до класу дисків; маса деталі 52 кг; матеріал – сталь 20Х13 ГОСТ 5632-72. Твердість деталі становить HB197-248; густина матеріалу  $j=7,905 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

### 2.9.2 Вибір і обґрунтування методів вимірювання

Схема вимірювання наведена на рисунку 2.7. Деталь установлюється на жорсткій, обертовий стіл і розтискну оправку, порожнина якої наповнена гідро-пластмасою. У разі зменшення об'єму гідро-пластмаси підвищується її тиск, яка залита у замкнуту порожнину. У цьому випадку тонка поверхня оправки деформується (вона робиться опуклою), деталь автоматично орієнтується уздовж осі оправки і закріплюється. На корпусі контрольного пристрою установлені дві стійкі із індикаторами, які вводяться у дотик із вимірювальними поверхнями деталі. До початку вимірювання стрілки індикатора установлюються на «0». Далі починається обертання стола з деталлю на кут 360°. При обертанні візуально фіксуються показники індикаторів. Для порівняння приймається найбільше відхилення стрілки індикатора, яке потім порівнюється із заданим значенням за вимогами креслення. Остаточо робиться висновок о точності вимірюваного параметра деталі і приймається рішення о її відповідності технічної вимоги.

Метод вимірювання – контактний, контроль – прямий. Умови, за якими відбувається вимірювання: температура в зоні вимірювання становить  $20 \pm 50^\circ$  ГОСТ 12.02.005-76; відносна вологість повітря  $\varphi_n=80\%$ ; тиск –  $P_{ам}=86-106$  КПа; швидкість руху повітря  $V_v \leq 0,5$  м/с; освітлення (місцеве) –  $E_\phi=1000$  лк.

### 2.9.3 Вибір і обґрунтування засобів вимірювання

В контрольному пристрої застосований контактний метод вимірювання. Поверхня, яка контролюється, сприймає вимірювальне зусилля без деформацій і змінання. Тому можна прийняти наконечник сферичної форми із радіусом сфери  $r=1,5$  мм (див. рис. 2.8).

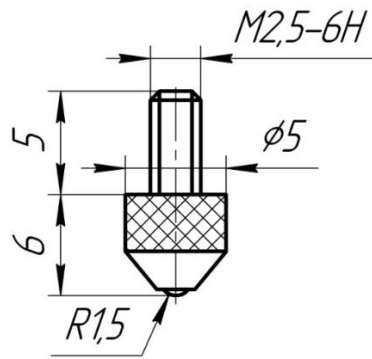


Рисунок 2.8 – Наконечник 35.10002 для індикатора ТЕЗА (№14.10505)

Похибка від вимірювального зусилля  $\Delta_{зус}$  визначається за формулою Герца:

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{зус}^2}{r}} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,7^2}{1,5}} = 0,4334 = 0,5 \text{ мкм} \quad (2.1)$$

де  $K=0,81$  – коефіцієнт, який враховує матеріал вимірювального наконечника (твердий сплав);

$P_{зус}=1,7 \text{ Н}$  – вимірювальне зусилля;

$r=1,5 \text{ мм}$  – радіус сфери наконечника.

Обираємо засіб вимірювання.

Допустима сумарна ( $\delta_{вим}$ ) похибка вимірювання пристроїм визначається за формулою:

$$|\delta_{вим}| = K \cdot IT = |0,2 \dots 0,35| \cdot 30 = 6 \dots 10,5 \text{ мкм}. \quad (2.2)$$

Відповідно до рекомендацій ГОСТ 8051-81 приймається  $|\delta_{вим}|=10 \text{ мкм}$ .

Визначаємо допустиму  $|\Delta_{ін}|$  похибку засобу вимірювання (ЗВ):

$$|\Delta_{ін}| = 0,7 \cdot |\delta_{вим}| = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ мкм}. \quad (2.3)$$

Ціна поділки визначається залежно від величини допустимої інструментальної похибки ЗВ. Приймаємо  $C=0,001 \text{ мм}$ . Відстань між поділками шкали  $1,0 \text{ мм}$ . Межа вимірювання за шкалою (А) повинна перевищувати допуск  $IT$ , щоб зняття показників не визивало утруднень. Приймаємо  $A=4IT=4 \cdot 30=0,12 \text{ мм}$ . Діапазон індикації визначається умовами експлуатації. Приймаємо  $B=1 \text{ мм}$ .



Вимірювальне зусилля  $P_{зус}=1,7$  Н, похибка вимірювального зусилля становить  $\Delta P_{зус}=0,5$  Н.

Показник надійності ЗВ є напрацювання  $t(P)$  до першої відмови при імовірності безвідмовної роботи  $P$ :

$$t(P) = 500 \cdot 4 = 2000 \text{ циклів.} \quad (2.4)$$

Витрати на покупку ЗВ приймається  $C=750$  гривен.

Вибираємо остаточно ЗВ: стрілочний індикатор ТЕЗА, ціна поділки шкали 0,001 мм; модель Ø80, №14.10505, цифри на шкалі розташовані в двох напрямках, плоска задня стінка має вушко в центрі (№14.40102). Індикатор виконаний із стопорним устроєм для циферблата та вбудованим механізмом піднімання вимірювального наконечника (див. рис. 2.9).

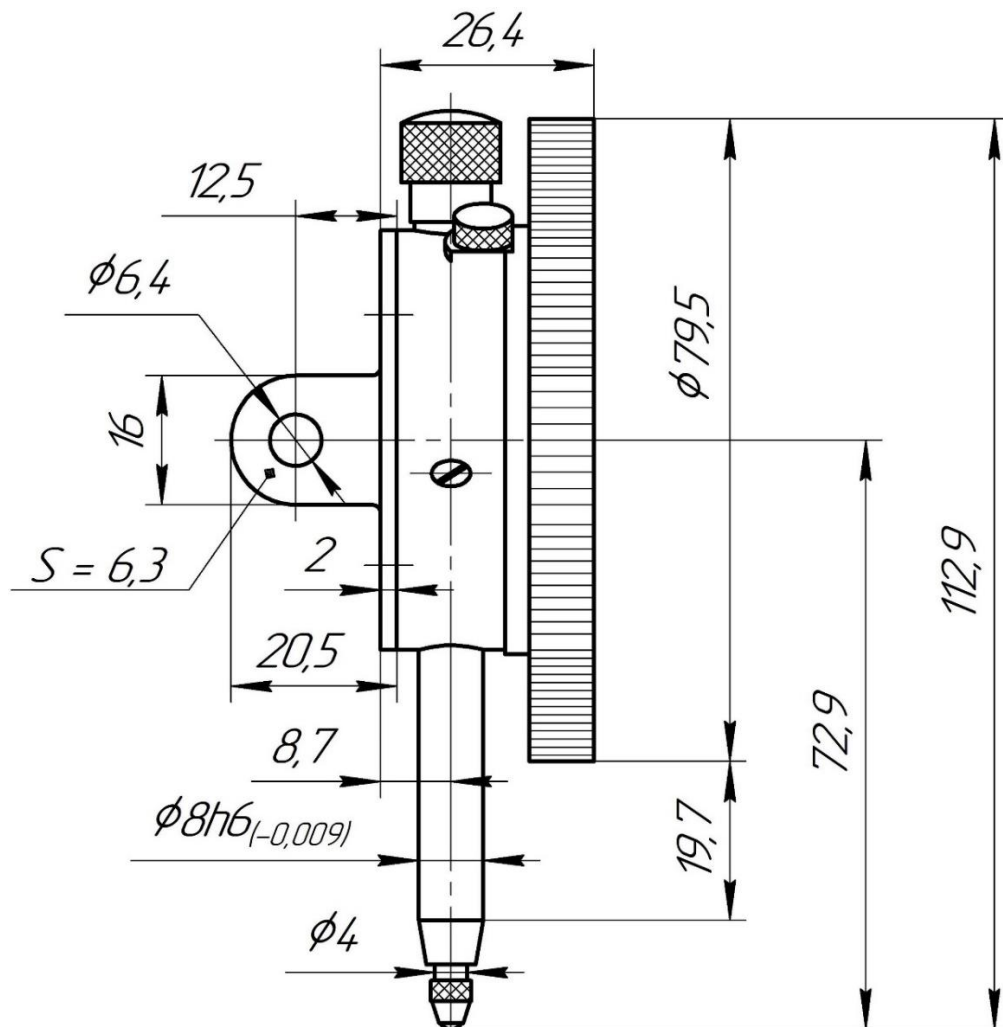


Рисунок 2.9 – Прецизійний стрілочний індикатор ТЕЗА (№14.10505)

## 2.9.4 Ескізне проєктування КВП

Фактична сумарна похибка  $\varepsilon_0$  пристрою розраховується за формулою [13]:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon + \varepsilon_{\Pi} + \varepsilon_e + \varepsilon_{\text{ін}} + \varepsilon_t + \varepsilon_{\text{зус}}, \quad (2.5)$$

де  $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} = 0$  – похибка установки КВП;  $\varepsilon_6 = 0$  – похибка базування КВП;  $\varepsilon_3 = 0$  – похибка закріплення КВП;  $\varepsilon_{\text{пр}} = 0$  – похибка виготовлення елементів пристрою практично не впливає на точність вимірювання; по-перше, індикатор виставляється на «0»; по-друге, оправка зношується рівномірно на довжині всього діаметру, а зазор, який збільшується при зносі, усувається деформованою частиною оправки. Поверхня обертового стола зношується рівномірно, а розташування осі обертання оправки регулюється для усунення биття;

$\Delta_p=0$  – похибка передавального устрою; в КВП його немає;

$\Delta_e=0$  – похибка виготовлення еталона; в КВП його немає;

$\Delta_{\text{ін}}=1$  мкм – похибка обраного ЗВ (ціна поділки вимірювальної шкали);

$\Delta_t=l \cdot \alpha(t_1-t_2)$  – похибка, яка відбиває змінювання температури зовнішнього середовища;  $l=110$  мм – вимірювальний розмір (найбільша товщина вимірювальної стінки деталі, для  $\text{Ø}410k6$ );  $\alpha=13,4 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-6}$  – коефіцієнт лінійного розширення для сталі;  $(t_1-t_2)=5^\circ\text{C}$  – можливий перепад температури в приміщенні для вимірювання.

Тоді  $\Delta_t=110 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \approx 0,0074$  мкм.

$$\varepsilon_0 = 0 + 0 + 0 + 1 + 0,0074 + 0,5 \cong 1,51 \text{ мкм.}$$

Порівняємо  $\varepsilon_0=1,51$  мкм  $< |\delta_{\text{вим}}|=10$  мкм і зробимо висновок, що контроль радіального биття поверхонь секції витримується.

Конструкція КВП, технічна характеристика і вимоги до його виготовлення наведені на кресленні ТМ 23510263-08-00.00 СК.

## 2.9.5 Опис конструкції і роботи КВП

В корпусі 1 розташована оправка 2, яка встановлена в підшипниках 20 і 21, підтиснутих двома гайками 15. Конструкція оправки 2 складається із напресованої втулки 3, яка має можливість деформуватися, регулюючого плунжера 4 та конічної пробки 22. Порожнина, яка знаходиться між оправкою 2 і напресованою втулкою 3, заповнена гідро-пластмасою 23. По лівому і правому сторонам корпусу 1 розташовані два стояки 5, які мають можливість обертатися на кут  $90^\circ$  в напрямних 6. Для фіксації стояків 5 по висоті в них впресовані штифти 9, а для усунення зазору в стояках уздовж осей їх обертання, встановлені пружини стиску 7. На верхній частині правого стояка 5 закріплений верхній держак 8 із вставленою в нього осі 10 з індикатором 19. На лівому стояку 5 в верхній частині розташований верхній держак 8 із віссю 10 та індикатором 19, а на нижній його частині закріплений нижній держак 11 із вставленими в отвір валиком 12 з індикатором 19.

Спочатку деталь встановлюється на плоску і циліндричну поверхні оправки 2. Вкручуючи плунжер 4 у отвір оправки, зменшується об'єм порожнини із гідро-пластмасою 23, тонка стінка втулки 3 деформується (стає опуклою), первинний зазор між циліндричною поверхнею оправки 2 і базовою поверхнею отвору деталі усувається, вона базується і закріплюється.

Стояки 5 із трьома індикаторами 19 обертаються на кут  $90^\circ$  із неробочого (відведеного) положення в робоче. Наконечники індикаторів вводяться у дотик із вимірювальними поверхнями, а шкали індикаторів суміщаються із шпичками стрілок (виставляються на «0»).

Потім деталь сумісно з оправкою 2 повільно обертається на кут  $360^\circ$ . Контролер візуально фіксує показники всіх трьох індикаторів у разі відхилення стрілок на найбільшу відстань шкали. Зазначені показники індикаторів записуються в контрольному журналі і приймається рішення щодо точності радіального биття вимірюваних поверхонь відповідно технічних вимог креслення. Розкріплення деталі відбувається у зворотному порядку.

Контрольно-вимірjuвальний пристрій необхідно зберігати в спеціальному футлярі, змастивши підшипники кочення відповідним мастилом, та запобігати ударам, вібрації, пилу, вологи, впливу збільшеного коливання температури.

## 2.10 Висновок

1. Запропонований удосконалений технологічний процес виготовлення секції.

2. Для дрібносерійного типу виробництва запропонований спосіб виготовлення первинної заготовки – обробка на кувальному гаряче-штампованому пресі (КГШП). Розроблені технічні вимоги до виготовлення штампованої заготовки.

3. Розрахунково-аналітичним методом за допомогою програми «*rig. ver. 7*» розраховані припуски і операційні технологічні розміри для обробки базового отвору секції  $\varnothing 190H7$  мм.

4. Призначені та обґрунтовані схеми базування і закріплення заготовки на технологічні переходи А і Б операції 040 «Токарна з ЧПК».

5. Вибрані моделі верстатів для операцій 035 «Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК» та 040 «Токарна з ЧПК». На зазначені операції обґрунтовані та вибрані верстатні пристрої, різальний і вимірjuвальний інструмент.

6. Виконаний розрахунково-аналітичним методом розрахунок режимів різання та технічних норм часу на операції 035 і 040.

7. Для операції 035 «Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК» спроектований спеціальний верстатний пристрій з метою швидкого установлення і переустановлення заготовок, що суттєво скорочує допоміжний час операції.

8. Для комплексного контролю радіального биття циліндричних і торцевих поверхонь деталі розроблений спеціальний контрольно-вимірjuвальний пристрій, який дозволяє зменшити час вимірjuвання поверхонь деталі на операції 050 «Технічний контроль».

## РОЗДІЛ 3

# РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ОЗДОБЛЮВАЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ТОРЦЕВИХ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ СЕКЦІЇ ВИРІВНЮВАННЯМ

### 3.1 Формування мікрорельєфу поверхні

Вирівнювання є одним із методів оздоблювальної обробки поверхонь пластичним деформуванням інструментом – алмазним кристалом, закріпленим в спеціальній оправки. Деформація поверхневого шару у напрямку руху вирівнювача наведена на рисунку 3.1.

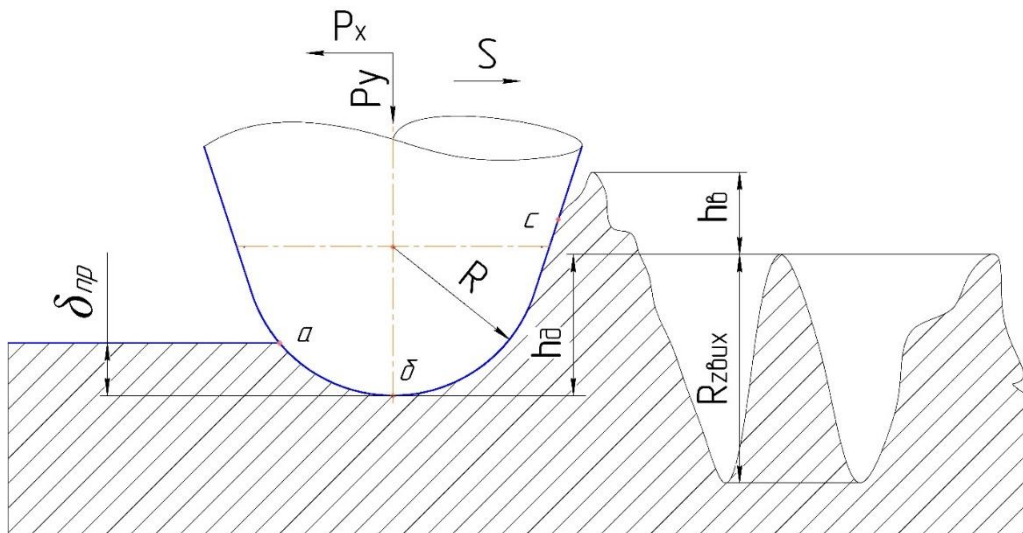


Рисунок 3.1 – Схема деформації поверхні при вирівнюванні

Притиснутий до оброблювальної поверхні із силою  $P_y$ , інструмент впроваджується на глибину  $h_d$ , рухається у напрямку подачі  $S$  і вирівнює вихідну нерівність. У разі неоднорідності вихідної шорсткості поверхні, твердості поверхневого шару і хвилястості реальна поверхні не є завжди гладкою у напрямку руху інструмента. Але висота шорсткості у зазначеному напрямку (поздовжня шорсткість) значно менше, ніж висота поперечної шорсткості.

Після проходження інструмента відбувається часткове пружне відновлення поверхні на величину  $h_{pr}$ . Контакт інструмента із оброблювальною

поверхнею відбувається по дугі  $abc$ . В результаті, по-переду вирівнювача з'являється валик пластичне деформованого металу  $h_b$ . Передня частина вирівнювача навантажена більше (контакт по дугі  $bc$ ), ніж задня частина (контакт по дугі  $ab$ ). Тому, між заготовкою і інструментом при вирівнюванні виникає сила подачі  $P_x$ .

Авторами робіт [5, 6, 7] встановлено, що сила вирівнювання  $P$  розкладається на три складові: нормальну  $P_y$ , тангенціальну  $P_z$  і силу подачі  $P_x$ . В джерелі [5] наведені формули для визначення складових сил вирівнювання:

$$P_x = C_x \cdot R^{0,5} \cdot h^{1,5} \cdot \sigma_{0,2}; \quad (3.1)$$

$$P_y = C_y \cdot R \cdot h \cdot \sigma_{0,2}; \quad (3.2)$$

$$P_z = C_z \cdot R^{0,5} \cdot h^{1,5} \cdot \sigma_{0,2}, \quad (3.3)$$

де  $C_x, C_y, C_z$  – коефіцієнти, які враховують конкретні умови обробки;

$R$  – радіус робочої частини вирівнювача;

$h$  – глибина впровадження вирівнювача;

$\sigma_T$  – межа текучості оброблювального матеріалу заготовки.

Сила, яка створює потрібний тиск в зоні обробки, є нормальною складовою силою вирівнювання  $P_y$ , а складові сили  $P_y$  і  $P_z$  в 10–12 разів менше нормальної сили вирівнювання. Тому, для розрахунку елементів конструкції інструменту для алмазного вирівнювання, приймається сила  $P_y$ .

### 3.2 Основні способи обробки вирівнюванням

На оздоблювальних операціях обробки плоских торцевих поверхонь застосовуються два способи вирівнювання – із жорстким або пружним закріпленням інструмента [5].

Вирівнювання жорстко закріпленим інструментом відбувається із жорстким кінематичним зв'язком між інструментом і деталлю, подібно точінню. Вирівнювач закріплюють на верстаті як різець і його розташування відносно оброблювальної заготовки визначається тільки кінематикою верстата і

пружністю технологічної системи (ТС). При обробленні вирівнювач впроваджується в оброблювальну поверхню на визначену величину, яка залежить від пластичності матеріалу заготовки, шорсткості поверхні і радіусу вирівнювача. Впроваджувальна величина може становити від декілька мікрон до кількох сотих міліметра [5].

Вирівнювачі мають інструмент у вигляді сфери. При налагодженні верстата інструмент підводять до дотику із заготовкою що обертається, а потім, за допомогою вертикального супорта впроваджують на потрібну глибину і включають поперечну подачу. Після закінчення обробки вирівнювач відводять у вихідне положення.

При жорсткому закріпленні вирівнювача підвищується точність розміру і форма поверхні заготовки шляхом перерозподілу об'єму пластичне деформованого металу. Але жорстке закріплення вирівнювача при битті оброблювальної поверхні призводить до змінювання величини впровадження його в метал і різке коливання сили тиску. У разі нерівномірності тиску виникає різна шорсткість і фізико-механічні властивості верхнього шару металу. Тому, жорстке закріплення вирівнювача потребує підвищену вихідну точність биття оброблювальної поверхні, а також підвищену жорсткість і точність установа заготовок і інструмента.

При обробки заготовок жорстким вирівнювачем оптимальна глибина  $h$  впровадження визначається за формулою:

$$h = (1,1 \dots 1,3)R_{Z_{\text{вих}}}, \quad (3.1)$$

де  $R_{Z_{\text{вих}}}$  – висота нерівностей оброблювальної поверхні.

У нашому випадку торці  $\emptyset 460/\emptyset 425$  і  $\emptyset 460/\emptyset 410k6$  пов'язані розміром  $95h9(0; -0,087)$  мм, а вихідна шорсткість обох торців становить

$$R_{Z_{\text{вих}}} = 4R_a = 4 \cdot 1,6 = 6,4 \text{ мкм.}$$

Тоді, згідно формули 3.1, величина глибини впровадження дорівнює

$$h = (1,1 \dots 1,3) \cdot 6,4 = 7,04 - 8,32 \text{ мкм.}$$

При обробленні заготовок на верстатах нормальної точності пружність ТС і похибка налагодження вертикального супорта значно перевищують зазначену

глибину впровадження. За даними джерела [5] пружність ТС дорівнює 5-8 мкм, а налагодження верстата 10-15 мкм. Тому, вирівнювання із жорстким закріпленням вирівнювача рекомендується для обробки особливо точних деталей на верстатах підвищеної точності.

Вирівнювання із пружним закріпленням інструмента передбачає пружний контакт із поверхнею оброблювальної заготовки. Вирівнювач пружно притискується до поверхні за допомогою пружини або іншим способом. Сила притиснення вирівнювача до заготовки, яка залежить від пластичності оброблювального металу, шорсткості поверхні і радіусу вирівнювача, легко контролюється і постійно підтримується за час обробки. Цей спосіб не передбачає кінематичний зв'язок між заготовкою і вирівнювачем. Положення вирівнювача відносно оброблювальної поверхні заготовки визначається самою оброблювальною поверхнею.

При пружному закріпленні інструмента похибки форми поверхні заготовки копіюються і не виправляються. Відбувається вирівнювання шорсткості поверхні і її зміцнення. Здобутком цього способу вирівнювання є простота налагодження і порівняно невисокі вимоги щодо точності і жорсткості верстатів і оброблювальних заготовок.

Вирівнювання із пружним закріпленням інструмента виконується на звичайних універсальних або спеціальних верстатах – токарних, фрезерних, агрегатних, стругальних і т. ін. Кінематика процесу визначається типом верстата і його рухами.

### 3.3 Вирівнювання плоских торцевих поверхонь

Обробка плоских торцевих поверхонь секції виконується пружним способом вирівнювання. Призначення обробки – зниження шорсткості поверхні до вимог креслення. Вирівнювання плоских торцевих поверхонь відбувається за допомогою спеціально розробленого інструмента – вирівнювача (див. рис. 3.2 і 3.3).



Вирівнювач вставляється у верхній супорт верстата і далі підводиться до обертової заготовки рухом вертикальної подачі. Коли інструмент знаходиться в контакті з оброблювальною поверхнею, відбувається рух (подача) поперечного супорта. Зазначені рухи інструмента закладені кінематикою токарно-карусельного верстата, який має велику продуктивність і значно зменшує трудомісткість оздоблювальної операції.

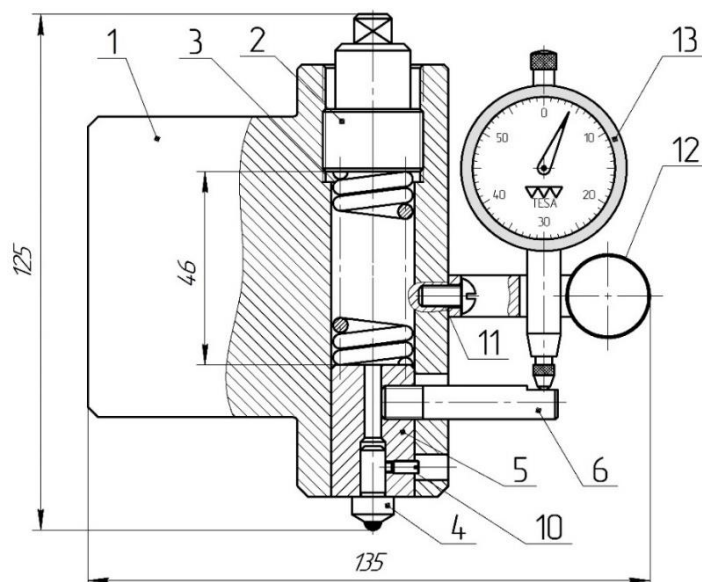


Рисунок 3.2 – Інструмент для алмазного вирівнювання плоскої торцевої поверхні не обмеженою буртами

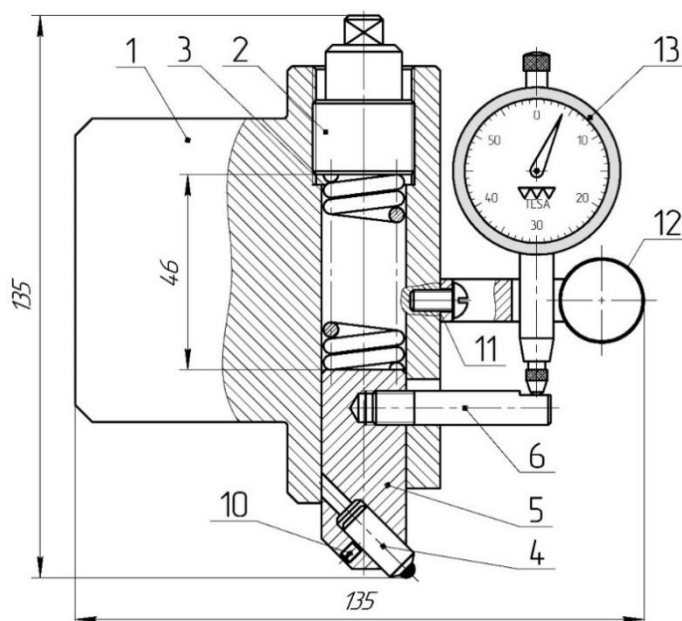


Рисунок 3.3 – Інструмент для алмазного вимірювання плоскої торцевої поверхні обмеженої одним буртом

Інструмент для вирівнювання складається із корпусу 1, який виготовлений із сталі 40Х, вставленої в нього пружини 3 і наконечника 4 із припаяним кристалом алмазу (див. рис. 3.4 а, б).

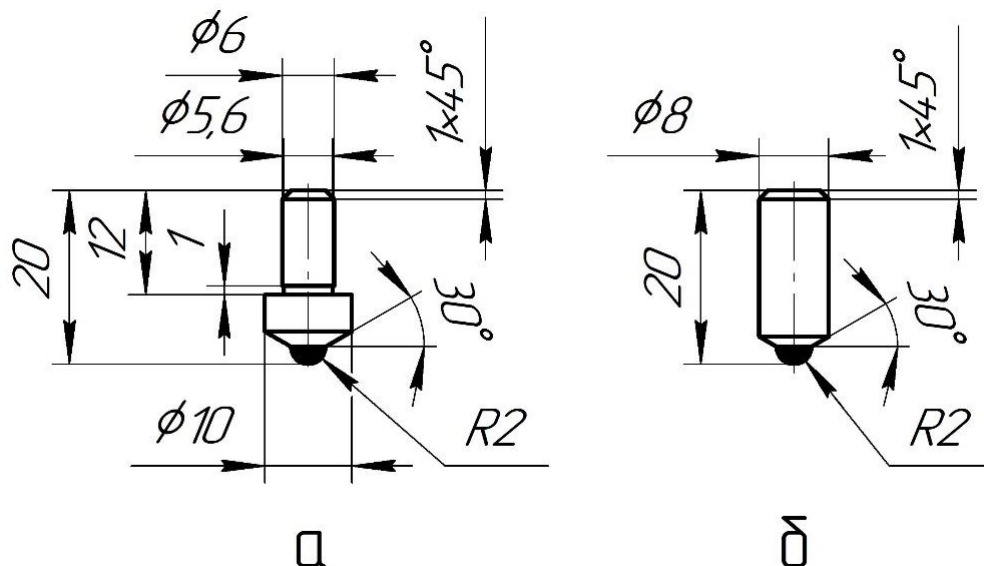


Рисунок 3.4 – Наконечники для вирівнювання торцевих поверхонь секції:  
а – для площини не обмеженої буртами; б – для площини обмеженої одним буртом

Алмаз в наконечнику закріплюється пайкою срібляними припаями марок ПСр-40, ПСр-50Кд, які мають низьку температуру плавлення (600-650 °С) і високі механічні властивості. Робоча поверхня алмаза виконана у вигляді сфери. Алмаз із сферичною формою поверхні – нормалізований, його маса знаходиться в межах 0,21 – 0,85 карат [20].

В джерелі [5] наведені дані стійкості алмазного кристала сферичної форми залежно від марки оброблювального матеріалу. Для сталі 20Х13 при обробленні алмазом із радіусом сфери 2,0 мм плоскої поверхні стійкість становить 70 – 80 км за 12 – 13 годин безперервної роботи інструмента.

Наконечник 4 (див. рис. 3.2 і 3.3) установлюють в пробку 5, рух якої обмежена стрижнем 6. Сила, з якою наконечник з алмазом притискується до оброблювальної поверхні, надається стисненням пружини 3 за допомогою

регулювального гвинта 2. Для точного визначення сили стиснення пружини крок регулювального гвинта виконаний мінімальним. Вирівнювання відбувається при визначеній величині сили притиснення, яка встановлюється за допомогою шкали мікроіндикатора 13. Корпус 1 закріплюється в різцетримачі вертикального супорта верстата.

Конструкції інструментів – алмазних вирівнювачів наведені на кресленнях ТМ 23510263-09-01.00.00 СК і ТМ 23510263-09-02.00.00 СК.

### 3.4 Визначення конструктивних елементів пружини

Основним елементом складального креслення інструмента для алмазного вирівнювання є пружина, жорсткість якої підтримує потрібний тиск на оброблювальну поверхню. Тому треба визначити жорсткість пружини, яка пов'язана з конструкцією інструмента. Розрахунок елементів конструкції пружини виконується за джерелом [13].

За класифікацією пружин – це гвинтова циліндрична пружина стиску, яка передбачає роботу при підвищених температурах, в агресивних та інших середовищах, що потребує застосуванню спеціальних матеріалів. За рекомендаціями [13] приймаємо пружину I-го класу, 1-го розряду, виготовленої із проволочи I-го класу згідно ГОСТ 9389-75 (матеріал – сталь марки 50ХФА, межа міцності  $\sigma_b = 2100$  МПа).

*Вихідні дані:* зовнішній діаметр пружини  $D = 17-19$  мм; робочий хід пружини  $h = 1$  мм; найбільша швидкість переміщення рухомого кінця пружини при навантаженні або розвантаженні  $V_0 = 3,3$  м/с; витривалість пружини – кількість циклів до руйнування  $N = 1 \cdot 10^7$ .

1. Сила пружини  $P_2$ , з якою вона тисне на алмазний наконечник вирівнювача, визначена в розділі режиму обробки пояснювальної записки  $P_2 = 219,8$  (Н).

2. Визначаємо силу  $P_3$  пружини при максимальній її деформації за формулою [3, с. 107]

$$P_3 = \frac{P_2}{1 - 0,05} \div \frac{P_2}{1 - 0,25} = \frac{219,8}{0,95} \div \frac{219,8}{0,75} \cong 231 \div 293 \text{ (Н)}.$$

3. В діапазоні від 231 до 293 (Н) згідно джерела [3, табл. 11, с. 111–115] маємо наступні сили  $P_3$ : 232; 245; 255; 275; 294 (Н). Приймаємо  $P_3 = 255$  Н.

4. За вихідними і розрахованими вище даними та використовуючи методику розрахунку конструкцій пружин стиску, наведеною в довіднику [13], розраховані наступні елементи конструкції пружини при їх застосуванні в інструментах для алмазного вирівнювання торцевих поверхонь секції:

- зовнішній діаметр  $D = 19$  мм;
- кількість витків  $n = 11$ ;
- робочий хід пружини  $h = 0,98$  мм;
- найбільший прогін одного витка  $f_3 = 1,014$  мм;
- діаметр проволочки пружини  $d = 3,5$  мм;
- жорсткість пружини  $C = 35,864$  Н/мм;
- жорсткість одного витка  $Z_1 = 394,5$  Н/мм;
- висота пружини у вільному стані  $H_0 = 53$  мм;
- висота пружини (при силі  $P_2 = 219,8$  Н)  $H_2 = 47$  мм;
- висота пружини (при силі  $P_3 = 255$  Н)  $H_3 = 42$  мм.
- критична швидкість при навантаженні або розвантаженні  $V_{кр} = 5,13$  м/с.

За визначеними даними технічна характеристика пружини відповідає службовому призначенню інструменту для вирівнювання і розраховані конструктивні елементи приймаються за вихідні дані при його проектуванні.

Налагодження для обробки поверхні відбувається встановленням заданої сили вирівнювання попередньо стисненою тарованою пружиною 3 по контрольній шкалі. За допомогою вертикального супорта вирівнювач підводиться до дотику із оброблювальною поверхнею і встановлюється натяг 0,2–0,3 мм по шкалі мікроіндикатора. Одночасно вмикається поперечна подача. Для якісної обробки поверхні необхідно забезпечити точну установку (перпендикулярність) осі вирівнювача до площини торцевої поверхні.

### 3.5 Шорсткість поверхні обробленою вирівнюванням

Поверхня, яка оброблена алмазним вирівнюванням, має округлу форму мікронерівності і характерний дзеркальний блиск.

Шорсткість торцевих поверхонь секції після їх алмазного вирівнювання можна теоретично розрахувати за формулою [20]:

$$R_a = 0,52 \cdot \frac{S_0^{0,4} \cdot V^{0,12}}{i^{0,3}} \cdot R_{a \text{ ВИХ}}^{1,05},$$

де  $i = 1$  – кількість ходів інструмента;

$R_{a \text{ ВИХ}} = 1,6$  мкм – висота нерівності вихідної поверхні (чистове точіння);

$S_0 = S/n = 0,5/128,1 = 0,0039$  мм/об – поперечна подача;

$V = 185$  м/хв – швидкість вирівнювання.

$$R_a = 0,52 \cdot \frac{0,0039^{0,4} \cdot 185^{0,12}}{1^{0,3}} \cdot 1,6^{1,05} = 0,33 \text{ мкм.}$$

Розрахована шорсткість отримана при раніше розрахованій нормальній силі вирівнювання  $P_y = 219,8$  Н. За вимогами креслення шорсткість  $R_a = 0,32$  мкм. Отже розраховані режими вирівнювання практично забезпечують вимоги креслення.

### 3.6 Висновок

1. Визначений метод оздоблювальної обробки плоских торцевих поверхонь – вирівнювання алмазним інструментом із пружним закріпленням.

2. Розроблені інструменти для вирівнювання плоскої торцевої поверхні, яка немає обмежень буртами, та торцевої поверхні обмеженої буртом із однієї сторони.

3. Визначені і розраховані елементи конструкції інструментів для алмазного вирівнювання – наконечники та пружини.

4. За визначеними режимами обробки та вихідною шорсткістю теоретично розрахована шорсткість торцевої поверхні після алмазного вирівнювання, яка збігається із шорсткістю за вимогами креслення.

## ВИСНОВКИ

1. Виконаний аналіз службового призначення виробу – відцентрового насоса ПЕ160–140 і деталі – секції.
2. Визначений тип виробництва – дрібносерійний, партія запуску, обрана організаційна форма роботи – групова.
3. Виконаний аналіз технологічності деталі за якісними ознаками. Конструкція деталі визначена технологічною.
4. Виконаний аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення секції та визначені шляхи для його удосконалення.
5. Запропонований удосконалений технологічний процес виготовлення секції за визначеним типом виробництва.
6. Обраний спосіб виготовлення заготовки – штамповка на гідравлічному пресі, розроблені технічні вимоги на її виготовлення.
7. Розрахунково-аналітичним методом на ЕОМ розрахований припуск на отвір  $\varnothing 190H7$  мм.
8. Обрані схеми базування і закріплення заготовки на операцію 035 «Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК». Обґрунтований вибір моделі металорізального верстата, технологічна оснастка, різальний і вимірювальний інструменти. Розрахований режим обробки алмазним вирівнюванням та норма часу на оздоблювальну операцію 040 «Токарна з ЧПК».
9. Спроектований верстатний пристрій для обробки заготовок на технологічних переходах А і Б операції 035 «Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК».
10. Спроектований контрольно-вимірювальний пристрій (КВП) для контролю радіального биття поверхонь секції.
11. Розроблена структура оздоблювальної операції 040 «Токарна з ЧПК» для алмазного вирівнювання торцевих поверхонь секції.

12. Розроблені спеціальні конструкції інструментів для алмазного вирівнювання плоских торцевих поверхонь не обмежених буртами та поверхонь обмежених буртом із однієї сторони.

13. Розроблена технологічна та конструкторська документація для виготовлення секції:

- креслення заготовки секції, одержаної на гідравлічному пресі;
- креслення маршрутного технологічного процесу виготовлення секції;
- креслення налагодження на оздоблювальну операцію для алмазного вирівнювання плоских торцевих поверхонь секції;
- креслення для установа заготовки на операції для алмазного вирівнювання;
- креслення для контролю радіального биття поверхонь секції;
- креслення інструментів для алмазного вирівнювання торцевих поверхонь секції.

14. Запропоновані заходи по соціальній та професійній безпеки людей працюючих на ділянці по виготовленню секції.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
2. Попович, В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підруч. для вищ. навч. закл. / В. В. Попович, В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
3. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 : навч. посібн. / Ю. І. Адаменко, О. М. Герасимчук, С. В. Майданюк, Н. В. Мініцька, В. А. Пасічник, О. А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 164 с.
4. Бойко, Ю. І. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. – Київ: НУХТ, 2018. – 195 с.
5. Guodong (David) Zhan, editor. Applications and Use of Diamond [Internet]. IntechOpen; 2023. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102105>.
6. Chaosheng Song, Daohui Xiang, Bo Zhao, Qinglong An, Xuekun Li, Dazhong Wang, Feng Jiao, Guofu Gao, Xiaobin Cui. Improving wear resistance and machining performance of diamond tools in ferrous metals cutting: A review. Journal of Materials Processing Technology, Volume 334, 2024, 118618. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2024.118618>.
7. Jiabao Zhang, Jianpeng Wang, Guoqing Zhang, Zexuan Huo, Zejia Huang, Linjia Wu. A review of diamond synthesis, modification technology, and cutting tool application in ultra-precision machining. Materials & Design, Volume 237, 2024, 112577. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112577>.
8. Liborius, H., Grund, T., Nestler, A., Paczkowski, G., Schubert, A., Lampke, T. Influence of the finish-machining by turning and diamond smoothing on the tribological properties of Fe17Cr2Ni0.2C thermally sprayed coatings. Surface and



9. Паливода, Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю. Є., Дячун А. Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 148 с.

10. Дикань, В. Л. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.

11. Паливода, Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

12. Мазур, М. П. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога та ін.; під заг. ред. М. П. Мазура. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 422 с.

13. Петров, О. В. Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.