

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій ІВАНОВ

« ____ » _____ 2020 р.

**«Удосконалення технологічного процесу виготовлення
вала 398Н–25–01 нагнітача Э1700–11–2М шляхом
розроблення оптимальної структури оздоблювальної
операції»**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Є. О. Пустовойт

Керівник

А. В. Євтухов

Консультант з охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

ЗМІСТ

Вступ.....	7
Розділ 1.....	
Аналіз технологічного процесу виготовлення вала.....	10
1.1 Аналіз службового призначення виробу, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов її експлуатації.....	10
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі.....	13
1.3 Визначення типу виробництва та форми його організації.....	18
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	21
1.4.1 Оцінювання технологічності конструкції деталі за якісними показниками.....	21
1.4.2 Оцінювання технологічності конструкції деталі за кількісними показниками.....	23
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення вала.....	25
1.6 Висновки. Завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення вала.....	28
Розділ 2.....	
Удосконалення технологічного процесу виготовлення вала.....	30
2.1 Складання раціонального маршруту технологічного процесу виготовлення деталі.....	30
2.2 Вибір способу виготовлення вихідної заготовки і розроблення технічних вимог до неї.....	30
2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку.....	34
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки на операцію 020 «Токарно-гвинторізна» та операцію 030 «Вертикально-фрезерна».....	36
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів.....	42
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	43
2.7 Розрахунок режимів різання.....	44
2.8 Технічне нормування операцій.....	49
2.9 Проектування верстатного пристрою для фрезерування.....	50
2.9.1 Обґрунтування мети операції і завдання на проектування.....	50
2.9.2 Розроблення і обґрунтування схем базування і закріплення заготовки.....	51

2.9.3	Розрахунок точності елементів пристрою.....	54
2.9.4	Опис конструкції і роботи пристрою.....	55
2.10	Проектування контрольно-вимірювального пристрою.....	56
2.10.1	Обґрунтування мети операції контролю.....	56
2.10.2	Вибір і обґрунтування методів вимірювання.....	59
2.10.3	Вибір и обґрунтування засобів вимірювання.....	60
2.10.4	Ескізне проектування КВП.....	62
2.10.5	Опис конструкції і роботи КВП.....	63
2.11	Висновок.....	64
	Розділ 3	
	Розроблення структури оздоблювальної операції для обробки підшипникових шийок вала.....	65
3.1	Розроблення схеми обробки циліндричних поверхонь шийок валів обмежених буртами.....	65
3.2	Вибір моделі верстата для суперфінішування шийок валів.....	70
3.3	Проектування інструментальної головки для суперфінішування.....	73
3.4	Вибір абразивних брусків і режиму обробки для суперфінішування.....	77
3.5	Висновок.....	82
	Висновки.....	83
	Список джерел посилань.....	85
	Додаток А Креслення деталі «Вал 398Н–25–01».....	88
	Додаток Б Креслення заготовки 398Н–25–01 «Вал. Поковка».....	89
	Додаток В Розрахунок припусків на ЕОМ.....	90
	Додаток Г Специфікація ТМ18510105–07–01.00.00 «Пристрій для фрезерування».....	91
	Додаток Д Креслення ТМ318510105–07–01.00.00 СК «Пристрій для фрезерування».....	94
	Додаток Е Специфікація ТМ18510105–08.00.00 «Пристрій для вимірювання радіального биття».....	95
	Додаток Ж Креслення ТМ18510105–08.00.00 СК «Пристрій для вимірювання радіального биття».....	97
	Додаток К Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	98

РЕФЕРАТ

Записка: 87 с., 19 рис., 23 табл., 8 приложений, 32 использованных источника.

Объект разработки – вал 398Н–25–01 центробежного нагнетателя Э1700–11–2М для подачи сернистого газа.

Цель работы – усовершенствование технологического процесса изготовления вала 398Н–25–01.

Выполнен анализ служебного назначения центробежного нагнетателя, вала, условий их эксплуатации. Определен тип производства – мелкосерийный, выполнен анализ технологичности конструкции детали. Проанализирован существующий на предприятии технологический процесс обработки вала.

Предложен рациональный маршрут обработки детали, выбран способ получения заготовки – ковка на прессе. Расчётно-аналитическим методом на ЭВМ рассчитаны припуски на диаметр 120h7. Предложены оптимальные схемы базирования и закрепления заготовок на операции 020 «Токарно-винторезная» и 030 «Вертикально-фрезерная». Выбраны модели станков, технологическая оснастка, режущий и мерительный инструмент, рассчитаны режимы резания и нормы времени на анализируемые операции. Разработано приспособление для фрезерования шпоночных пазов на операции 030, спроектирован КИП для контроля радиальных биений шеек вала.

Выполнено исследование отделочной операции 050 «Суперфинишная». Предложена схема обработки с двойным охватом брусков и жёстким их замыканием обрабатываемой шейки вала, даны рекомендации по снижению их круглости и радиального биения.

Решены вопросы охраны труда и техники безопасности в чрезвычайных ситуациях.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ОПЕРАЦИЯ, ПРИПУСК, ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРА, РЕЖИМ РЕЗАНИЯ, НОРМА ВРЕМЕНИ, ПРИСПОСОБЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ

Записка: 87 с., 19 рис., 23 табл., 8 додатків, 32 використаних посилань

Об'єкт розробки – вал 398Н–25–01 відцентрового нагнітача Э1700–11–2М для подання сірчаного газу.

Мета роботи – удосконалення технологічного процесу виготовлення вала 398Н–25–01.

Виконаний аналіз службового призначення відцентрового нагнітача, вала, умов їх експлуатації. Визначений тип виробництва – дрібносерійний, виконаний аналіз технологічності конструкції деталі. Проаналізований існуючий на підприємстві технологічний процес обробки вала.

Запропонований раціональний маршрут обробки деталі, вибраний спосіб виготовлення заготовки – ковка на пресі. Розрахунково-аналітичним методом на ЕОМ розраховані припуски на діаметр 120h7. Запропоновані оптимальні схеми базування і закріплення заготовок на операції 020 «Токарно-гвинторізна» і 030 «Вертикально-фрезерна». Вибрані моделі верстатів, технологічна оснастка, різальний і вимірювальний інструмент, розраховані режими різання і норми часу на обрані операції. Розроблений пристрій для фрезерування шпонкових пазів на операції 030, спроектований КВП для контролю радіального биття шийок вала.

Виконано дослідження оздоблювальної операції 050 «Суперфінішна». Запропонована схема обробки із подвійним охопленням брусків і жорстким їх затисканням оброблювальної шийки вала, надані рекомендації по зменшенню їх круглості і радіального биття.

Вирішені питання охорони праці і техніки безпеки у надзвичайних ситуаціях.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ОПЕРАЦІЯ, ПРИПУСК, ТОЧНІСТЬ РОЗМІРУ, РЕЖИМ РІЗАННЯ, НОРМА ЧАСУ, ПРИСТРІЙ

SUMMARY

Note: 87 pages, 19 figures, 23 tables, 8 annexes, 32 sources.

Development object – shaft 398H–25–01 of the Э1700–11–2M centrifugal blower for supplying sulfur dioxide.

The purpose of the work is to improve the technological process of manufacturing shaft 398H–25–01.

The analysis of the service purpose of the centrifugal blower, shaft, and their operating conditions has been carried out. The type of production was determined – small-scale, the analysis of the manufacturability of the design of the part was carried out. The existing at the enterprise technological process of shaft processing is analyzed.

A rational route for processing a part is proposed, a method for obtaining a workpiece is chosen – forging on a press. Calculating and analytical method on a computer calculated allowances for the diameter 120h7. Optimal schemes for basing and fixing the workpieces at operation 020 "Turning-screw-cutting" and 030 "Vertical-milling" are proposed. Models of machine tools, technological equipment, cutting and measuring tools were selected, cutting modes and time norms for the analyzed operations were calculated. A device for milling keyways at operation 030 was developed, instrumentation was designed to control the radial beats of the shaft journals.

The study of finishing operation 050 "Superfinishing" was carried out. A processing scheme with double coverage of the bars and their rigid closure of the processed shaft journal is proposed, recommendations are given for reducing their roundness and radial runout.

The issues of labor protection and safety measures in emergency situations have been resolved.

TECHNOLOGICAL PROCESS, OPERATION, STOCK, SIZE ACCURACY,
CUTTING MODE, TIME RATE, FIXTURE

ВСТУП

Актуальність теми. За останній час в багатьох галузях промисловості та сільського господарства України збільшився попит на сірчану кислоту, яка є проміжним продуктом для виготовлення інших виробів. Для виробництва сірчаної кислоти широко застосовуються відцентрові нагнітачі Э1700–11–2М, які подають сірчаний газ, повітря або інші гази в зону хімічної реакції. Виріб має велику масу і розміри, характеризується великою частотою обертання ротора, споживаною та вихідною потужністю. Нагнітач піддається інтенсивній експлуатації в умовах хімічного виробництва сірчаної кислоти, що потребує ремонту або виготовленню зношених вузлів і деталей.

Однією із основних деталей відцентрового нагнітача є вал. Конструкцією вала передбачено ряд виконавчих поверхонь, які значно впливають на надійність і довговічність виробу. Такими поверхнями є підшипникові шийки, до яких конструктором зазначені високі вимоги щодо точності форми поверхні (круглість і радіальне биття не більше 0,01 мм), шорсткості поверхні $R_a = 0,32$ мкм.

Аналіз технологічного процесу обробки цих поверхонь виявив ряд суттєвих недоліків при їх виготовленні. Існуючий на виробництві фінішний етап їх обробки складається із операцій шліфування і суперфінішування. Операція шліфування шийок забезпечує точність розмірів за вимогами креслення, шорсткість поверхні $R_a = 1,6–1,25$ мкм. Точність форми поверхні, а це круглість та радіальне биття, забезпечується в межах 0,03–0,04 мм. Наступна операція суперфінішування передбачає зниження шорсткості до потрібних вимог креслення. Точність форми, яка за вимогами креслення повинна становити 0,01–0,02 мм, також зостається невидаленою. Існуюча традиційна кінематика операції суперфінішування у багатьох випадках не видаляє оставлені після шліфування дефекти у вигляді окремих подряпин, окалини, надирів. Наведені недоліки негативно відбиваються на роботі виробу, знижують його надійність та довговічність.

Для усунення цих недоліків треба розробити нові кінематичні умови суперфінішування, запропонувати інструментальну головку і режими обробки абразивними брусками, що дозволить забезпечити потрібні технічні умови креслення при виготовленні підшипникових шийок валів.

Актуальність зазначених питань підвищується із збільшенням пропозицій на виготовлення товарів, в яких застосовується сірчана кислота.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є вал 398Н–25–01 відцентрового нагнітача Э1700–11–2М, який призначений для подачі сірчаного газу в зону хімічної реакції при безперервному циклу виробництва сірчаної кислоти.

Предмет дослідження. Оздоблювальна операція – суперфінішна, яка за технічними вимогами кресленням забезпечує потрібну точність форми поверхонь підшипникових шийок вала та їх низьку шорсткість.

Мета і завдання дослідження. Підвищити точність форми підшипникових шийок вала шляхом розроблення нових кінематичних умов суперфінішування та спеціальної інструментальної головки для обробки абразивними брусками.

Задачі дослідження. Розробити структуру оздоблювальної операції для обробки підшипникових шийок вала. Виконати теоретичні дослідження кінематичних умов процесу суперфінішування для підвищення точності форми циліндричних поверхонь. Розробити практичні рекомендації для вибору раціонального технологічного режиму і умов обробки підшипникових поверхонь вала.

Наукова новизна роботи. Розроблені нові кінематичні умови схеми обробки брусками із двостороннім охоптом оброблювальної поверхні брусками, які притиснуті до заготовки заданою силою гальмувальних ланцюгів.

Виконані теоретичні дослідження розроблених кінематичних умов суперфінішування і виявлені фактори (тиск та час обробки), які впливають на точність форми поверхні в поперечному перетині шийки вала.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконані із використанням основних наукових положень технології машинобудування у галузі алмазно-абразивної оздоблювальної обробки циліндричних поверхонь валів. Практичні

рекомендації для вибору режимів різання способом суперфінішування розроблялися за результатами наукових робіт, в яких досліджувався зазначений спосіб обробки.

Практичні результати отриманих результатів. Запропонована конструкція інструментальної головки з двостороннім охопленням брусками оброблювальної поверхні шийки вала, в якій реалізований жорсткий кінематичний зв'язок між брусками та їх притисненням до поверхні гальмуючими ланцюгами із заданою силою.

Особистий вклад магістранта. Результати виконаних досліджень отримані студенткою самостійно.

Апробація результатів магістерської роботи. Немає.

Публікації. Немає.

Структура і об'єм роботи. Магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновку, переліку використаних посилань із 32 найменувань, 87 сторінок машинописного тексту, 19 рисунків, 23 таблиць, 8 додатків. Загальний обсяг роботи складається із 87 сторінок.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА

1.1 Аналіз службового призначення виробу, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації

Відцентровий нагнітач Э1700–11–2М призначений для подачі сірчаного газу при виробництві сірчаної кислоти [1]. Основні параметри нагнітача для подачі сірчаного газу в зону хімічної реакції наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні параметри нагнітача

Найменування	Чисельні дані
Об'ємна продуктивність, яка віднесена до початкових умов всмоктування, м ³ /с (м ³ /хв)	27,8 (1670)
Підвищення тиску (різниця між статичним кінцевим і початковим тисками), Па (мм в. ст.)	2,94·10 ⁴ ·(3000)
Тиск всмоктування на вході у всмоктувальний патрубок, Па (кгс/см ²)	9,32·10 ⁴ ·(0,95)
Температура газу на вході у всмоктувальний патрубок, К° (°С)	313 (40)
Частота обертання ротора нагнітача, с ⁻¹ (об/хв)	50 (3000)
Споживана потужність, Вт (кВт)	1050000 (1050)
Густина вологого газу при 0 °С і 760 мм. рт. ст.(кг/м ³)	1,38

Нагнітач отримує оберти від електродвигуна із частотою обертання 50 с⁻¹ (3000 об/хв). Напрямок обертання ротора нагнітача – супротив годинної стрілки, якщо дивитися від електродвигуна. Маховий момент ротора нагнітача 334 кгс/м². Критична кількість обертів ротора 75 с⁻¹ (4500 об/хв). Газ в нагнітач надходить із всмоктувального трубопроводу, а його об'єм регулюється ручним способом дросельним пристроєм. Момент на муфті електродвигуна в кінці пуску 300 кг·м, момент на початку пуску 30 кг·м. Маса найбільш важкої частини нагнітача 2,7 т (теоретична). Маса комплексу обладнання без головного електродвигуна 6,5 т (теоретична). Підшипники нагнітача змащуються турбінним маслом Т22 ГОСТ 32–74. Змащування підшипників нагнітача відбувається циркуляційним способом, під тиском і за допомогою циркуляційної системи.

Нагнітач складається з корпусу, ротора, корпусу підшипників з опорними і опорно-упорними вкладишами. У виріб входить мастильна система і синхронний турбодвигун потужністю 1250 кВт, а також асинхронний електродвигун для пуску масляного насоса, з муфтою між нагнітачем і електродвигуном. Для піднімання ротора при складанні або розбиранні застосовується спеціальний пристрій.

Ротор нагнітача (див. рис. 1.1) має одно робоче колесо 2, конструкція якого містить штамповані лопатки коритоподібного перетину. Всі деталі ротора виготовлені із високоякісної сталі. Робоче колесо у зібраному виді балансується за статичним способом. Перед робочим колесом нагвинчений обтічник 7, який забезпечує плавне підведення газу до робочого колеса 2. За робочим колесом на вал 3 насаджена втулка 6 із ущільнюванням у вигляді лабіринту, та крильчатка 1 вентиляторного типу, яка створює повітряний затвор. Вал має два бурти, які фіксують ротор відносно корпусу 14 і передають осьовий тиск ротора на опорно-упорний підшипник 15.

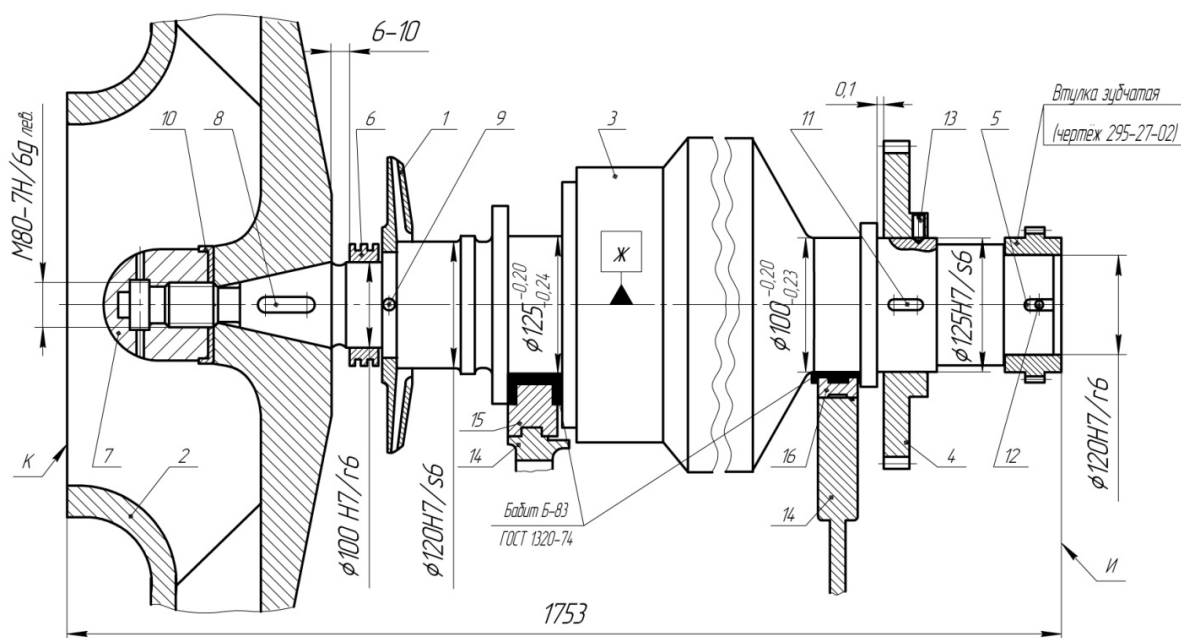


Рисунок 1.1 – Ротор нагнітача

На валу 3 розташована ведуча зубчаста шестерня 4, яка передає оберти головному масляному насосу. На кінці вала 3 розташована зубчаста втулка (креслення 295–27–02), яка з'єднує ротор із валом електродвигуна.

В середній частині вал 3 має потовщення для потрібного розташування\ центра ротора між опорами. Після остаточного складання ротор балансується за динамічним методом. Граничний небаланс у площині К складає 160 г·см.

Робоче колесо, втулка із ущільнюванням у вигляді лабіринту, крильчатка і зубчаста шестерня насаджуються на вал ротора у гарячому стані. Щоб забезпечити потрібний натяг у конічному з'єднанні робочого колеса із валом, треба розташувати робоче колесо з упором в спеціальне дистанційне кільце (креслення 190–90–7 СБ), яке видаляється із ротора після його охолодження. Різниця температури насаджуваної деталі і вала повинна бути не менше 70 °С. Колесо нагрівається до температури не вище 140 °С.

Основне службове призначення ротора – забезпечити проходження сірчаного газу крізь поверхні робочого колеса. Аналіз технічних вимог нагнітача показав, що для нормальної роботи ротора треба забезпечити зазор 6–10 мм між робочим колесом і торцем втулки із ущільнюванням. Остаточо ротор треба балансувати разом із напресованими на нього деталями.

Вал 398Н–25–01 є однією із основних деталей виробу (див. рис.1.2). Виконавчими поверхнями (ВП) деталі є: конічна поверхня $\varnothing 98,6h6/\varnothing 92,07$ із уклоном 1:15, довжиною 98 мм (поверхня 2), дві шпонкові поверхні шириною 24Н9 і довжиною 90(+0,5;+0,1) мм кожна (поверхні 26). Ці поверхні передають оберти робочому колесу – виконують своє службове призначення безпосередньо. Вал при складанні установлюється поверхнями 11 і 17 в корпус підшипників із опорними і опорно-упорними вкладишами. Для виключення осьового переміщення підшипників передбачені поверхні 30 і 31. Поверхні 11, 17, 30, 31 є основними конструкторськими базами (ОКБ). Класифікація і схема зв'язків базових поверхонь наведена в таблицях 1.2 і 1.3.

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Степінь вільності	Умовне найменування бази, характер прояву
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ, явна
5	I	ОБ, явна
6	IV	Вакансія

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / L, α	X	Y	Z	База
L	1	1	0	ПНБ
α	1	1	0	
L	0	0	1	ОБ
α	0	0	0	
L	0	0	0	–
α	0	0	0	
Σ	2	2	1	5 зв'язків

Ряд поверхонь вала є базами, на які установлені наступні деталі: втулка зубчаста (креслення 295–27–02), зубчаста шестерня (поз. 4), крильчатка (поз. 1), втулка ущільнювання у вигляді лабіринту (поз. 6), робоче колесо (поз. 2), обтічник (поз. 7). Наведені поверхні (1, 2, 4, 5, 19, 21, 26, 28, 36, 37, 38) є допоміжними конструкторськими базами (ДКБ). Вони визначають точність розташування приєднаних деталей. Інші поверхні є вільними (ВП) (див. рис. 1.2).

Поверхні, які виконують функції ВП, ОКБ, ДКБ, повинні мати відповідні технічні вимоги до точності розмірів, форм поверхонь, шорсткості, взаємному розташування поверхонь.

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

На кресленні вала достатньо кількості видів, проекцій, перетинів, виносок, технічних вимог. Але креслення виконане за застарілими вимогами ГОСТ. Нові позначення розмірів і шорсткості наведені в таблиці 1.4 [4, 5].

Однією із основних вимог креслення є радіальне биття шийок вала відносно осі E, яке повинно бути не більше 0,02 мм. Виходячи із службового призначення вала конструктор призначив радіальне биття підшипникових поверхонь обмежених буртами [$\varnothing 100(-0,2;-0,23)$ $\varnothing 125(-0,2;-0,24)$], а також їх торці $\varnothing 185h12/\varnothing 125$ і $\varnothing 210h12/\varnothing 125$ не більше 0,01 мм (див. креслення 398Н–25–01).

Конструктор призначив ці вимоги правильно, тому що ці поверхні є ОКБ в складальній одиниці «ротор» і створюють із поверхнями вкладишів «кришки» і «корпусом» складальну одиницю – опорний і опорно-упорний підшипники.

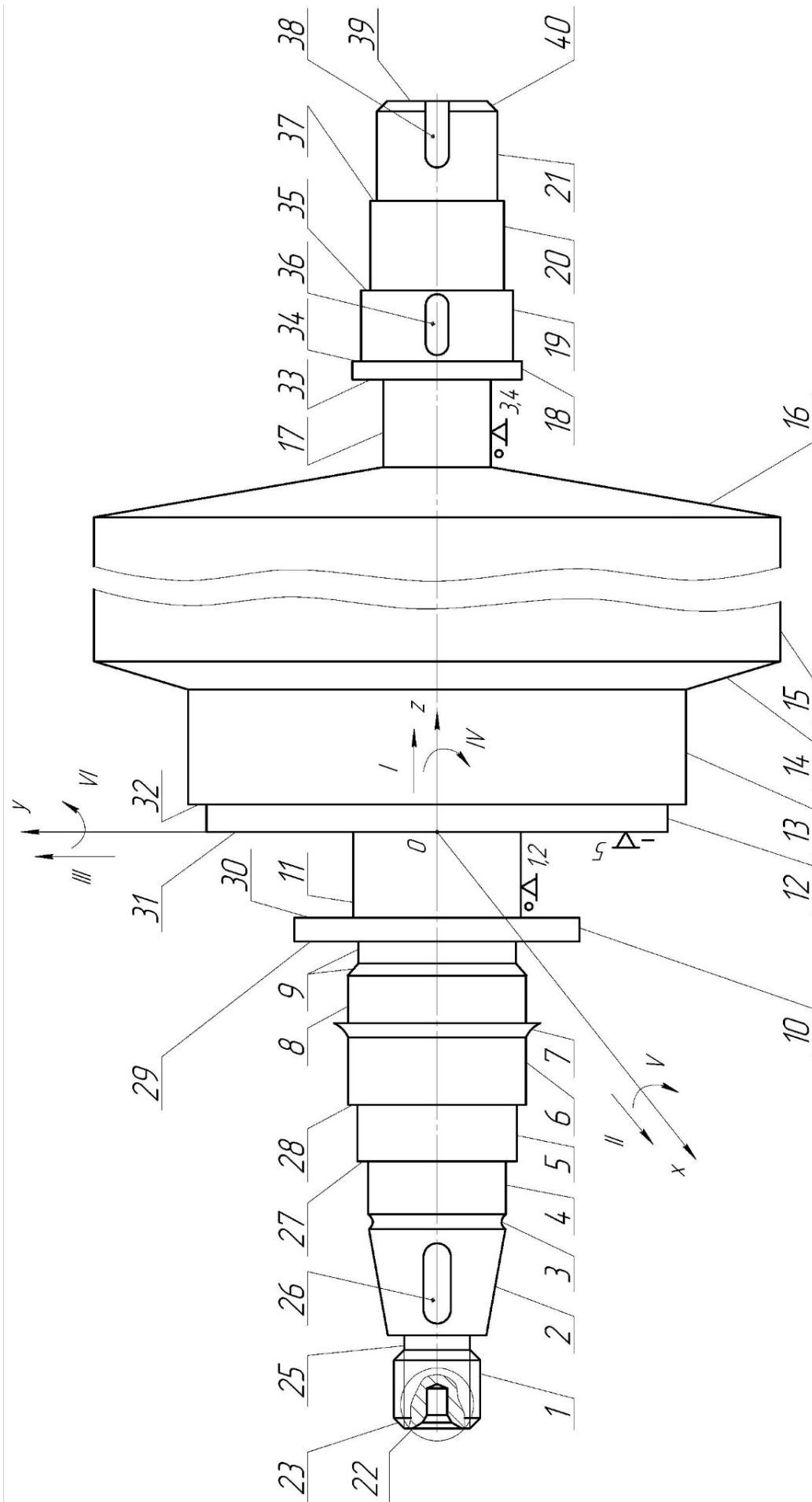


Рисунок 1.2 – Креслення вала 298Н-25-01 із нумерованими поверхнями

Таблиця 1.4 – Зміни в кресленні деталі

Позначення на кресленні		Нове позначення	
Розмір, мм	Шорсткість, мкм	Розмір, мм	Шорсткість R _a , мкм
1	2	3	4
M80x3кл.2,лев.	∇6	M80x3-6g, лів.	1,6
Ø98,6C(0;-0,023)	∇7	Ø98,6h6(0;-0,022)	0,8
Ø100Пл(+0,07;0,045)	∇7	Ø100p7(0,072;+0,037)	0,8
Ø110Пр(+0,095;+0,07)	∇7	Ø110s6(+0,101;+0,079)	0,8
Ø120C _{2П} (0;-0,035)	∇7	Ø120h7(0;-0,035)	0,8
Ø131C ₅ (0;-0,053)	∇6	Ø131h12(0;-0,4)	1,6
Ø185C ₅ (0;-0,6)	∇5	Ø185h12(0;-0,35)	3,2
Ø125(-0,2;-0,24)	∇9	Ø125(-0,2;-0,24)	0,32
Ø210C ₅ (0;-0,6)	∇5	Ø210h12(0;-0,46)	3,2
Ø220C ₅ (0;-0,6)	∇5	Ø220h12(0;-0,46)	3,2
Ø350C ₅ (0;-0,68)	∇5	Ø350h12(0;-0,57)	3,2
Ø100(-0,2;-0,23)	∇9	Ø100(-0,2-0,23)	0,32
Ø135C _{2П} (0;-0,04)	∇6	Ø135h7(0;-0,04)	1,6
Ø125Пр(+0,11;+0,08)	∇7	Ø125s6(+0,117;+0,092)	0,8
Ø124Ш(-0,15;-0,21)	∇6	Ø124d8(-0,145;-0,208)	1,6
Ø120Пр(+0,095;+0,07)	∇7	Ø120s6(+0,101;+0,079)	0,8
32ПШ(-0,032;-0,105)	∇5	32P9(-0,026;-0,088)	3,2
102C ₄ (0;-0,23)	∇4	102h11(0;-0,22)	6,3
111C(0;-0,23)	∇4	111h11(0;-0,22)	6,3
12ПШ(-0,020;-0,075)	∇5	12P9(-0,018;-0,061)	3,2
120,5C ₄ (0;-0,26)	∇4	120,5h11(0;-0,25)	6,3
24A ₃ (+0,045; 0)	∇5	24H9(+0,052; 0)	3,2

Діаметральні зазори в підшипниках встановлені в межах 0,2–0,25 мм і якщо радіальне биття перевищує 0,01 мм, то підшипники будуть розбиватися. Це призведе до появи вібрації технологічної системи виробу, підвищенню температури в підшипниках (більше 70 °С) і їх зруйнуванню. За інструкцією [1] вібрація підшипників не повинна перевищувати 0,05 мм. Поверхні ДКБ на які встановлені колесо, крильчатка, зубчаста шестерня, втулка мають радіальне биття не більше 0,02 мм. Якщо це значення буде перевищено, то стрімко зросте силове навантаження наведених деталей на деталі, які працюють з ними в контакт. Результатом такого режиму роботи деталей буде їх підвищений знос, зростання температури, поява вібрацій.

Друга основна вимога до нормальної роботи конструкції це виконати динамічне балансування ротора разом з напресованими на нього деталями. Треба забезпечити

небаланс поверхні К 160 г·см, а поверхні И 50 г·см. Невиконання цих вимог може призвести до повного руйнування виробу. Для забезпечення наведеної вимоги конструкцією вала передбачено в середній його частини потовщення (діаметр 350h12 довжиною 460 мм), яке забезпечує розташування центра ваги ротора між опорами. Таке конструктивне рішення дозволяє забезпечити нормальну роботу виробу на весь час його експлуатації.

Для точного центрування робочого колеса на валу в конструкції передбачена конічна поверхня з основою конуса $\varnothing 98,6h6$ і уклоном 1:15 довжиною 98 мм. Наведене конструкторське рішення дозволяє максимально з'єднати геометричну і динамічну осі робочого колеса і вала та забезпечити їх точність в процесі динамічного балансування ротора.

Конструктор, виходячи із умов експлуатації вала, призначив матеріалом деталі сталь 45 ГОСТ 1050–88 (див. табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Хімічний склад (в процентах) і механічні властивості сталі 45 ГОСТ 1050–88

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr
			Не більше			
0,4–0,5	0,17–0,37	0,5–0,8	0,045		0,3	0,3
σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	α_n , кДж/м ²	НВ (Не більше)	
Не менше					Гаряче-катаної	Відпаленої
360	610	16	40	490	241	197

За всіма наведеними показниками сталь 45 відповідає службовому призначенню вала. В технічних вимогах креслення конструктор запропонував марки сталей замінників: сталь 34 ХМА КП 35С ОСТ108.958.04–85 і сталь ОХМ ГОСТ 5198–75.

До цих вимог треба додати вимоги до макроструктурі згідно ТИ 25.050.00025.

Для виключення можливого повороту напресованих на шийки вала робочого колеса, зубчастої шестерні і зубчастої втулки при роботі виробу, на шейках $\varnothing 120s6$; $\varnothing 125s6$; $\varnothing 98,6h6$ з уклоном 1:15 довжиною 98 мм передбачені п'ять пазів під шпонкові з'єднання.

Конструктор правильно зазначив вимоги до точності розмірів шпонкових пазів (32P9; 12P9; 24H9), а також до їх взаємного розташування відносно основних осей вала Е і Ж. Значний час роботи виробу в умовах хімічно активного середовища призводить до змінювання заданих вимогами креслення посадок $\varnothing 120H7/s6$; $\varnothing 125H7/s6$; $\varnothing 98,6H7/h6$ (з конусом 1:15 довжиною 98 мм). Виникає потреба в передачі крутного моменту, а також виключення повороту деталей на шийках вала. Саме це рішення конструктора знайшло своє відображення в конструкції вала.

Слід зазначити, що конструктор правильно призначив вимоги до точності геометричних форм поверхонь шийок вала (допуски круглості і профіль повздовжнього перетину в межах 0,01 мм на шийках ОКБ і 0,02 мм на шийках ДКБ).

Підшипникові шийки вала розмірами $\varnothing 100(-0,2;-0,23)$ та $\varnothing 125(-0,2;-0,24)$, їх торці $\varnothing 185h12/\varnothing 125$ і $\varnothing 210h12/\varnothing 125$, які є ОКБ, мають низьку шорсткість поверхонь $R_a = 0,32$ мкм. Зазначена шорсткість поверхонь узгоджена з допусками круглості, профілем форми повздовжнього перетину шийок вала та їх радіальним биттям, яке становить не більше 0,01 мм. Низька шорсткість поверхонь потрібна для збільшення фактичної площини контакту підшипникових шийок вала із вкладишами опорного та опорно-упорного підшипників. Для нормальної роботи підшипникових вузлів фактична площа контактних поверхонь повинна скласти не менше 80% загальної площини контакту. Перераховані основні технічні вимоги креслення передбачають застосування як відомих методів обробки цих поверхонь, наприклад, точіння, свердління, шліфування, фрезерування, так і оригінальних – суперфінішування або обробка способом подвійної осциляції брусків [5]. Наведена технічна вимога передбачає додаткових технологічних рішень для її забезпечення.

Інші поверхні вала нагнітача на етапі механічної обробки можна виготовляти із застосуванням відомих технологічних методів, що не потребує додаткових уточнень або змінювання в конструкції деталі.

Аналізом встановлено, що зазначених технічних вимог достатньо, щоб в процесі експлуатації забезпечити нормальну роботу вала у виробі.

1.3 Визначення типу та форми організації виробництва

Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операцій K_{30} [2]. Вихідні дані для розрахунку K_{30} : існуючий технологічний процес виготовлення вала і норми штучно-калькуляційного часу $T_{ш-к}$ за всіма операціями. Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій наведений в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

Номер операції	Найменування операції	$T_{ш-к}$, хв	m_p	P	$\eta_{з.ф.}$	O
015	Горизонтально-розточувальна	28,5	0,015	1	0,015	53,33
020	Токарно-гвинторізна	76,2	0,04	1	0,04	20
025	Токарно-гвинторізна	69,2	0,036	1	0,036	22,22
030	Вертикально-фрезерна	52,6	0,027	1	0,027	29,63
035	Круглошліфувальна	75,4	0,039	1	0,039	20,51
040	Суперфінішна	40	0,021	1	0,021	38,1
Всього		341,9		6		183,79

Визначення типу виробництва.

Кількість верстатів для кожної операції визначається за формулою:

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

де $N = 100$ шт – об'єм випуску деталей за рік;

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

$\eta_{з.н.} = 0,8$ – середній нормативний коефіцієнт завантаження обладнання (на цьому етапі тип виробництва ще не визначений).

Беремо цілу кількість робочих місць P , які округляємо до ближнього більшого цілого значення m_p .

Фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця

$$\eta_{зф} = \frac{m_p}{P}$$

Кількість операцій, що виконуються на робочому місці

$$O = \frac{\eta_{зн.}}{\eta_{зф}}$$

Результати розрахунків, сумарні значення $T_{ш-к}$, P , O наведені в таблиці 3.1.

Коефіцієнт закріплення операцій розраховується за формулою:

$$K_{30} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{183,79}{6} = 30,63.$$

Згідно ГОСТ 14.004–83, якщо $20 < K_{30} \leq 40$, то це відповідає дрібносерійному виробництву.

Визначення форми організації виробництва.

Випуск деталей за добу

$$N_d = \frac{N}{254} = \frac{100}{254} \approx 0,4 \approx 1 \text{ шт},$$

де 254 – кількість робочих днів за рік.

Продуктивність Q поточної лінії за добу, якщо вона завантажена на 60%

$$Q = \frac{F_{\text{доб.}} \cdot 60\%}{T_{\text{ср}}} = \frac{952 \cdot 0,6}{57} = 157 \text{ шт},$$

де $F_{\text{доб.}} = \frac{F_d \cdot 60}{254} = \frac{4029 \cdot 60}{254} = 952 \text{ хв}$ – фонд часу роботи обладнання за добу, якщо режим роботи виконується за дві зміни.

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T_{\text{ш-к}}}{n_p} = \frac{341,9}{6} = 57 \text{ хв} \text{ – середня трудомісткість основних механічних}$$

операцій;

$$n_p = 6 \text{ – кількість основних механічних операцій у технологічному процесі.}$$

Якщо $N_d = 1 < Q = 10$, то застосування одно номенклатурної поточної лінії недоречно. Беремо групову форму організації виробництва. Запуск виробів у виробництво виконується партіями за визначеним періодом, що відповідає серійному виробництву.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску можна визначати за спрощеним способом

$$N_{\text{п}} = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{100 \cdot 12}{254} \approx 5 \text{ шт},$$

де $a = 12 \text{ дн}$ – період запуску деталей для виготовлення у виробництво.

Розмір партії корегуємо за рахунок кількості змін C , що потрібно для обробки всієї партії

$$C = \frac{T_{\text{ср}} \cdot N_{\text{п}}}{F_3 \cdot \eta_{\text{з.н.}}} = \frac{57 \cdot 5}{476 \cdot 0,8} = 0,75,$$

де $F_3 = \frac{F_{\text{доб}}}{b} = \frac{952}{2} = 476$ хв – фонд часу роботи обладнання за одну зміну;

$b = 2$ – кількість змін;

$\eta_{\text{з.н.}} = 0,8$ – нормативний коефіцієнт загрузки станков в серійном виробництві.

Кількість змін округляємо до ближнього цілого значення $C_{\text{п}} = 1$. Тоді кількість деталей в партії

$$N_{\text{п}} = \frac{F_3 \cdot C_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{з.н.}}}{T_{\text{ср}}} = \frac{476 \cdot 1 \cdot 0,8}{57} = 7 \text{ шт.}$$

Основна характеристика групової форми організації виробництва визначена ГОСТ 14.004–83 [5, 6].

В умовах дрібносерійного типу виробництва вироби виготовляються партіями або серіями, що складаються із одного найменування та одного типу за конструкцією і розмірами виробів, які запускаються у виробництво одночасно. Дрібносерійне виробництво за особливостями наближене до одиничного виробництва. Застосовується універсальні верстати і верстати із ЧПК; оснастка універсальна, стандартизована із механізованим та ручним приводом. Заготовки оброблюються партіями із послідовним виконанням операцій. Обладнання розташовується, в основному, за ходом технологічного процесу, технологічна оснастка частково спеціалізована.

Середня кваліфікація основних робочих вище, ніж у масовому виробництві, але нижче, ніж в одиничному виробництві. Розряди робочих знаходяться в межах 3 – 5 розрядів. Дрібносерійне виробництво економніше, ніж одиничне, тому що краще використовується спеціальне обладнання і оснастка (за рахунок партій деталей), що дозволяє зменшити собівартість продукції. На виробництві застосовуються

спеціалізація робочих місць. Технологічна документація і технічне нормування ретельно розроблюється для складних та відповідальних заготовок. Одночасно знаходить місце застосування укрупненої документації.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

1.4.1 Оцінювання технологічності конструкції деталі за якісними показниками.

Вал виготовлений із сталі 45 ГОСТ 1050–88. Заготовка – поковка твердістю HB143-197 II групи точності згідно ГОСТ 8479–70. Конфігурація деталі має ряд складних рельєфів, які сформовані поєднанням циліндричної, конічної, сферичної і плоскої поверхонь. На кресленні вала це виноска I і II, а також дві шийки (ОКБ) обмежених буртами діаметрами 125(-0,2;-0,24) і 100(-0,2;-0,23) мм. До цих рельєфів конструктор призначив підвищені вимоги щодо точності розмірів (6–7 квалітети точності), шорсткості поверхонь ($R_a = 0,2-2,5$ мм), точності їх взаємного розташування (0,01–0,02 мм), точності форми профіля (допуск круглості 0,01–0,02 мм, допуск профіля повздовжнього перетину 0,01–0,02 мм). Створення форм таких поверхонь передбачає складність у разі призначення та реалізації існуючих методів обробки, що дає підставу вважати названі елементи деталі нетехнологічними.

Конструкція вала має конічну поверхню діаметрами 98,6h6/92,07±0,02 із уклоном 1:15 довжиною 98 мм. Шорсткість конічної поверхні $R_a = 0,8$ мкм. На поверхні розташовані два симетричних шпонкових паза довжиною 90(+0,5;+0,1) мм, перемінною глибиною [6...9(+0,15;0)] мм, шириною 24H9(+0,052;0) мм. За технічними вимогами креслення треба забезпечити їх симетричне розташування в межах 0,05 мм, паралельність бокових поверхонь паза в межах 0,03 мм. Бокові поверхні шпонкових пазів повинні розташовуватися відносно осі деталі під кутом $90^\circ \pm 5'$. Для реалізації цих вимог треба застосувати на механічних операціях точне обладнання, спеціальну технологічну оснастку, обробку виконувати високоточним різальним інструментом. Аналіз показує, що в існуючому діапазоні розмірів «мірних» фрез відсутні діаметр 24H9, що ускладнює виготовлення цього розміру методом копіювання. За даними ГОСТ 9140–78 є шпонкова фреза діаметром 25e8 і тому розмір ширини шпонкових пазів треба прийняти 25H9(+0,052;0) мм. Також,

для вимірювання шпонкових пазів треба застосувати спеціальний вимірювальний інструмент. Таким чином, конструктивне рішення шпонкових пазів вала можна вважати нетехнологічним.

Конструкцією вала передбачена різьбова поверхні розміром M80 x 3–6g, ліва. Для виготовлення такої різі треба застосувати інший режим різання, що передбачає підвищену трудомісткість при її формоутворенні. Це також є нетехнологічним рішенням конструкції вала.

Конструкція вала має шийку великої маси діаметром 350h12 довжиною 460 мм, яка обмежена торцевими конічними поверхнями (уклонами), розташованих під кутами $13^{\circ}30'$ і $10^{\circ}30' \pm 30'$. Сусідні діаметральні поверхні, що розташовані відносно цієї шийки, мають діаметральні розміри 100(-0,2;-0,23) і 220h12 мм і також обмежені торцевими поверхнями. Перелічений діапазон шийок вала не дозволяє ефективно застосувати способи їх точіння «на прохід» або «копіювання». Наведена конструкція вала не є технологічним рішенням.

Особливою вимогою креслення є забезпечення низької шорсткості поверхні за критерієм $R_a = 0,2$ мкм на двох шийках вала діаметрами 100 і 125 мм та двох торцевих (плоских) поверхонь кільцевими діаметрами $\emptyset 135h7/\emptyset 100$ і $\emptyset 185h12/\emptyset 125$. Виконання цієї вимоги потребує застосувати на фінішному етапі обробки шийок вала оздоблювальної операції. Цією операцією може бути суперфінішування абразивними брусками або спосіб подвійної осциляції брусків. Запропоновані вимоги можна вважати відносно не технологічним рішенням конструктора.

За даними креслення маса деталі дорівнює 497 кг, а маса заготовки, яка отримана ковкою на молоті становить 745 кг. Конструкцією вала передбачено, що основна частина маси вала розташована в центральній її частині. При точінні шийок розташованих по краям вала на підвищених обертах (більше 500 об/хв), може призвести до появи вібрацій. Вібрації виникають із-за дисбалансу геометричної і динамічної осями при обертанні вала. Цей фактор обмежує застосування раціональних режимів різання. Тому в технологічному процесі виготовлення складальної одиниці ротора (складальне креслення 398Н–25 СБ) треба передбачити

операцію динамічного балансування. Можна вважати таку конструкцію вала відносно нетехнологічною.

Одночасна велика маса деталі, розміри (діаметр 350h12 і довжина 1631±1 мм), конфігурація розташування ВП і поверхонь ОКБ і ДКБ не дозволяє застосувати велике різноманіття методів на етапі виготовлення заготовки. Аналіз показав, що заготовку можна виготовити ковкою на пресах або вільним куванням на молотах.

Одним із основних вимог креслення є забезпечення радіального биття шийок вала відносно осі Е (не більше 0,01–0,02 мм). Ця вимога дозволить виконати якісне складання вала з деталями, що входять у складальну одиницю, а на етапі експлуатації виробу забезпечити потрібну робото-спроможність.

Введення в технологічний процес виготовлення вала операції для шліфування шийок з однієї установки, дозволить виконати технічні вимоги креслення.

Нетехнологічними є конструкції галтелей радіусів 20, 7,5, 10 мм фасонної поверхні діаметром 131h12 із кутом нахилу $20^\circ \pm 30'$ та радіусами 0,5, 2, 3 мм. Для їх виготовлення треба застосувати відповідний різальний інструмент та способи точіння.

У цілому, конструкція деталі за якісними показниками є відносно технологічною і допускає використання як відомих методів обробки, продуктивних режимів різання, так і спеціальних (оригінальних).

1.4.2 Оцінювання технологічності конструкції деталі за кількісними показниками.

Кількісними показниками технологічності конструкції вала є його маса, коефіцієнти використання металу, уніфікація конструктивних елементів, точність обробки, шорсткість поверхонь, рівень використання матеріалу.

1. Коефіцієнт точності K_T визначається за формулою

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}}$$

де T_{cp} – середній квалітет точності поверхонь.

$$T_{cp} = \frac{\sum(T_i \cdot n_i)}{\sum n_i} = \frac{573}{52} = 11,$$

де T_i – квалітет точності i -ї поверхні;

n_i – кількість розмірів відповідного квалітету.

Дані T_i і n_i для розрахунку наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Визначення коефіцієнта точності K_T

T_i	n_i	$T_i \cdot n_i$		T_i	n_i	$T_i \cdot n_i$
15	6	90		10	2	20
14	10	140		9	6	54
13	1	13		8	1	8
12	9	108		7	3	21
11	7	77		6	7	42

$$\Sigma(T_i \cdot n_i) = 573; \quad \Sigma n_i = 52;$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{11} = 0,91.$$

2. Коефіцієнт шорсткості $K_{ш}$ визначається за формулою

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{ср}},$$

де $Ш_{ср}$ – середня шорсткість поверхні.

$$Ш_{ср} = \frac{\Sigma(Ш_i \cdot n_i)}{\Sigma n_i} = \frac{117,9}{50} = 2,358,$$

де $Ш_i$ – шорсткість i -ї поверхні;

n_i – кількість поверхонь з однаковою шорсткістю.

Дані $Ш_i$ і n_i наведені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Визначення коефіцієнта шорсткості $K_{ш}$

$Ш_i$	n_i	$Ш_i \cdot n_i$	$Ш_i$	n_i	$Ш_i \cdot n_i$	$\Sigma(Ш_i \cdot n_i) = 117,9$
12,5	-	-	0,8	9	7,2	$\Sigma n_i = 50$
6,3	5	31,5	0,4	-	-	$Ш_{ср} = 2,358$
3,2	17	54,4	0,2	4	0,8	
1,6	15	24	-	-	-	

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{2,358} = 0,42.$$

3. Коефіцієнт використання металу $K_{\text{им}}$ визначається за формулою

$$K_{\text{им}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_{\text{з}}} = \frac{497}{745} = 0,67,$$

де $m_{\text{д}} = 497$ кг – маса деталі;

$m_{\text{з}} = 745$ кг – маса заготовки.

4. Коефіцієнт уніфікації поверхонь $K_{\text{уп}}$ визначається за формулою

$$K_{\text{уп}} = \frac{\Sigma P_y}{\Sigma П} = \frac{42}{44} = 0,96,$$

де $\Sigma P_y = 42$ – сума уніфікованих поверхонь деталі;

$\Sigma П = 44$ – загальна кількість поверхонь.

Відповідно до ЕСТПП деталь технологічна за кількісними показниками, якщо $K_{\text{т}} \geq 0,8$; $K_{\text{ш}} \leq 0,32$; $K_{\text{им}} \geq 0,7$; $K_{\text{уп}} = 0,96 \rightarrow 1$.

Таким чином, конструкція деталі технологічна за показниками коефіцієнтів точності та уніфікації поверхонь, але нетехнологічна за коефіцієнтами шорсткості і використання металу. Для підвищення коефіцієнта $K_{\text{им}}$ треба змінити спосіб виготовлення заготовки, наприклад, виготовляти заготовку методом кування на пресах.

1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення вала

Вал 398Н–25–01 виготовляється на компресорному підприємстві міста Пензи (Російська Федерація). Маршрутний технологічний процес механічної обробки вала складений для одиничного типу виробництва і виготовляється на верстатному обладнанні механічного цеха.

1. Операція 005 «Заготівельна». Поковка виготовляється за вимогами ТУ НЗЛ 342–69, категорія І. Обладнання – кувальний молот.

2. Операція 015. «Обдирка». Операція виконується на токарному верстаті моделі 1А620. На операції видаляються припуски, напуски, виконується проточка поверхонь діаметрів 120r6 і 80, підрізаються торці під бази.

3. Операція 020 «Токарна». Для обробки використовується токарно-гвинторізний верстат моделі 1А620. Операція передбачає чорновий етап обробки поверхонь. Оброблюються діаметральні поверхні по 13-14 квалітетам точності, підрізаються торці діаметрів 155 і 135 мм, виконується центрування заготовки. Свердляться два центрових отвори В8 ГОСТ 14034–74.

4. Операція 025 «Токарна». Обробка виконується на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1А620. На операції виконується півчистовий етап обробки. Оброблюються діаметральні і торцеві поверхні вала по 9–12 квалітетам точності, з шорсткістю поверхонь $R_z = 20\text{--}40$ мкм.

5. Операція 030 «Токарна». Верстатне обладнання – токарний верстат моделі 1А620. На операції виконується чистовий етап обробки. Діаметральні поверхні оброблюються по 6-7 квалітетам точності і забезпечується шорсткість поверхонь $R_a = 2,5$ мкм. Остаточо точиться конічна поверхонь з уклоном 1:15 довжиною 98 мм, ріжеться ліва різь М80х3–6g.

На токарних операціях 020, 025, 030 базами є зовнішні торцеві поверхні вала і центрові отвори В8 ГОСТ 14034-74. На наведених операціях забезпечується принцип єдності і постійності баз при обробки. Наведене базування дозволяє виконати технічні вимоги креслення, а саме, точність взаємного розташування ступінчастих поверхонь вала, що зменшить трудомісткість їх виготовлення на етапі механічної обробки.

6. Операція 035 «Фрезерна». На операції фрезеруються п'ять шпонкових пазів, за технічними вимогами креслення. Базовими поверхнями для їх обробки є діаметральні поверхні шийок вала діаметрами 120d9 і 110s6. Обробка пазів виконується на вертикально-фрезерному верстаті моделі 6Р13. Характеристиками верстата передбачений невеликий робочий хід стола, що викликає труднощі при обробки пазів, які розташовані на великій відстані один від одного. Це пов'язано із значним допоміжним часом на переустановлення та налагодженню різального

інструменту нам потрібний розмір оброблювальної поверхні. Також, консольне розташування вала на столі верстата при обробки значно знижує жорсткість технологічної системи (ТС), що впливає на точність розмірів і шорсткість поверхні.

7. Операція 040 «Шліфувальна». На операції шліфуються шийки вала, шорсткість яких знаходиться в межах $R_a = 1,25-0,32$ мкм, а також поверхні, у яких взаємне розташування (радіальне і осьове биття, співвісність) забезпечується в межах $0,01-0,02$ мм відносно осі лінії центрів. Особливу складність передбачає шліфування поверхонь підшипникових шийок вала діаметром $125(-0,2;-0,24)$ мм і довжиною $110(+0,035;0)$ мм, та діаметром $100(-0,2;-0,23)$ мм і довжиною 120 мм. Ці поверхні обмежені буртами з обох сторін, що передбачає їх шліфування врізаним способом. Технічними вимогами креслення треба забезпечити їх биття не більше $0,01$ мм відносно осі центрів вала, а також залишити мінімальний припуск під наступну оздоблювальну операцію «Суперфінішування». Остання передбачає забезпечити шорсткість поверхні $R_a = 0,2$ мкм.

Операція виконується на круглошліфувальному спеціальному верстаті моделі ХШ-203. Базами на операції шліфування шийок вала є центрові отвори В8 згідно ГОСТ 14034–74.

8. Операція 045 «Суперфінішна». Ця операція є оздоблювальною і на підприємстві, де відсутній спеціальний верстат для суперфінішування абразивним інструментом, операція виконується на токарному верстаті моделі 1А620. Обробка підшипникових шийок вала виконуються із застосування спеціального пристрою, де інструментом є шліфувальна стрічка. Шліфуються дві підшипникові поверхні діаметрами $125(-0,2;-0,24)$ і $100(-0,2;-0,23)$ мм, які обмежені буртами, що створює технологічні труднощі для їх виконання. На операції треба забезпечити шорсткість в межах $R_a = 0,32-0,2$ мкм, а також профіль циліндричної форми поверхні в межах $0,01$ мм. Заготовка на токарному верстаті базується по центровим отворах на жорстких центрах. Крутний момент заготовки передається від повідкового токарного патрона, що спричиняє виникненню вібрації при шліфуванні. Шорсткість оброблювальних підшипникових поверхонь вала контролюється еталонами шорсткості згідно ГОСТ 9378–75.

1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення вала

Аналіз існуючого технологічного процесу показав, що структури окремих операцій треба змінити, виключивши ряд суттєвих недоліків.

1. Рекомендується поковку виготовляти куванням на пресі, а для цього розрахувати припуски згідно ГОСТ 7062–90. Це дозволить економити метал заготовки, знизити трудомісткість наступної механічної обробки вала.

2. Із маршрутного технологічного процесу треба виключити операцію обдирки, а замість неї запропонувати операцію по підрізанню торців вала у розмір 1631 ± 1 мм, їх центруванню (свердлінню двох отворів В8 ГОСТ 14034–74). Операцію виконувати на горизонтально-розточувальному верстаті моделі 2М614.

3. На токарних операціях 020, 025, 030 застосувати токарно-гвинторізні верстати моделі 1А64. Верстати мають підвищену жорсткість ТС, що дозволить забезпечити точність розмірів, форм та взаємного розташування шийок вала.

4. Для операції 035, де виконується фрезерування шпонкових пазів вала, розробити спеціальний пристрій, що підвищить продуктивність і точність їх обробки. Операцію рекомендується виконати на верстаті моделі 6А59.

5. Шліфувальну операцію 040 пропонується виконати на верстаті моделі 3М174Е, що забезпечить підвищену жорсткість ТС, точність обробки та якість оброблених поверхонь.

6. Операцію 045 «Суперфінішна» рекомендується виконувати на спеціальному верстаті для суперфінішування моделі 3872. Для досягнення шорсткості поверхні за критерієм $R_a = 0,2$ мкм і забезпечення нормальних умов різання абразивним інструментом (абразивними брусками), треба розробити спеціальний пристрій – інструментальну головку з коливальними рухами абразивних брусків уздовж осі оброблювальних поверхонь. Кінематична схема рухів абразивних брусків, співвідношення робочої площини їх охоплення оброблювальної поверхні шийки вала, дозволить створити технологічні умови виправленню похибки форми (круглості) за час обробки. Для розроблення кінематичних умов оздоблювальної операції треба використати рекомендації літературних джерел [14, 15, 16].

Існуюча на підприємстві оздоблювальна операція дозволяє оброблювати підшипникові поверхні із шорсткістю в межах $R_a = 0,32-0,63$ мкм. В багатьох випадках після її виконання на циліндричні частині шийки та їх торцевих поверхнях (буртах) застаються невидалені дефекти, які zostавлені різальним інструментом попередньою операцією – шліфуванням. Це дрібні подряпини, окремі глибокі риски, окремі ділянки невидаленої хвилястості.

В науково-дослідній частині магістерської роботи треба навести теоретичні і експериментальні розроблення, які досягнуті в цієї області знань. На основі розробленого пристрою запропонувати практичні рекомендації по структурі, налагодженню і режимам різання оздоблювальної операції абразивними брусками, виключивши зазначені недоліки існуючої операції на підприємстві.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА

2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі

Для складання раціонального технологічного маршруту виготовлення вала спочатку виберемо способи обробки окремих поверхонь заготовки, виходячи із параметрів, які треба забезпечити технічними вимогами креслення.

Призначимо на діаметральні, торцеві, конічні, шпонкові поверхні, канавки, галтелі методи обробки, попередньо зробивши нумерацію поверхонь деталі (див. рис. 1.2). Перелік етапів, способів обробки, досяжний квалітет точності розмірів і шорсткості поверхонь, їх послідовність застосування наведені в таблиці 2.1.

Аналіз таблиці 2.1 показує, що поверхні 11, 17, 30, 31 оброблюються на всіх етапах механічної обробки (чорновому, півчистовому, чистовому, фінішному). Кількість способів обробки і методів утворення поверхонь, їх послідовність виконання в маршрутному процесі є оправданою, тому що треба забезпечити надані технічними вимогами креслення наступні параметри: шостий квалітет точності розмірів, шорсткість поверхонь за критерієм $R_a = 0,2-0,32$ мкм, точність радіального биття відносно основної бази E – осі центрів деталі в межах 0,02 мм.

Високий квалітет точності IT6–IT7, шорсткість поверхонь за критерієм $R_a=1,25-0,8$ мкм треба забезпечити на поверхнях 2, 4, 5, 6, 8, 19, 21. Наведені поверхні повинні пройти обробку на чотирьох етапах – чорновому, півчистовому, чистовому і фінішному. Це дозволить витримати потрібні параметри якості поверхонь вала згідно технічних вимог креслення.

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Вихідні дані для вибору вихідної заготовки вала: матеріал деталі – конструкційна сталь марки 45 ГОСТ 1050–88; маса вала $m_0=497$ кг; річний об'єм випуску виробів $N = 100$ штук; форма організації виробництва – потокова; тип виробництва – дрібносерійний.

За вихідними даними беремо поковку, яка може виготовлятися ковкою на пресі або молоті [7]. Попереднім розрахунком визначено, що маса поковки m_m , яка виготовлена на молоті, більше маси поковки m_n , яка виготовлена на пресі: $m_m = 745 \text{ кг} > m_n = 627 \text{ кг}$ (див. рис. 2.1 і 2.2).

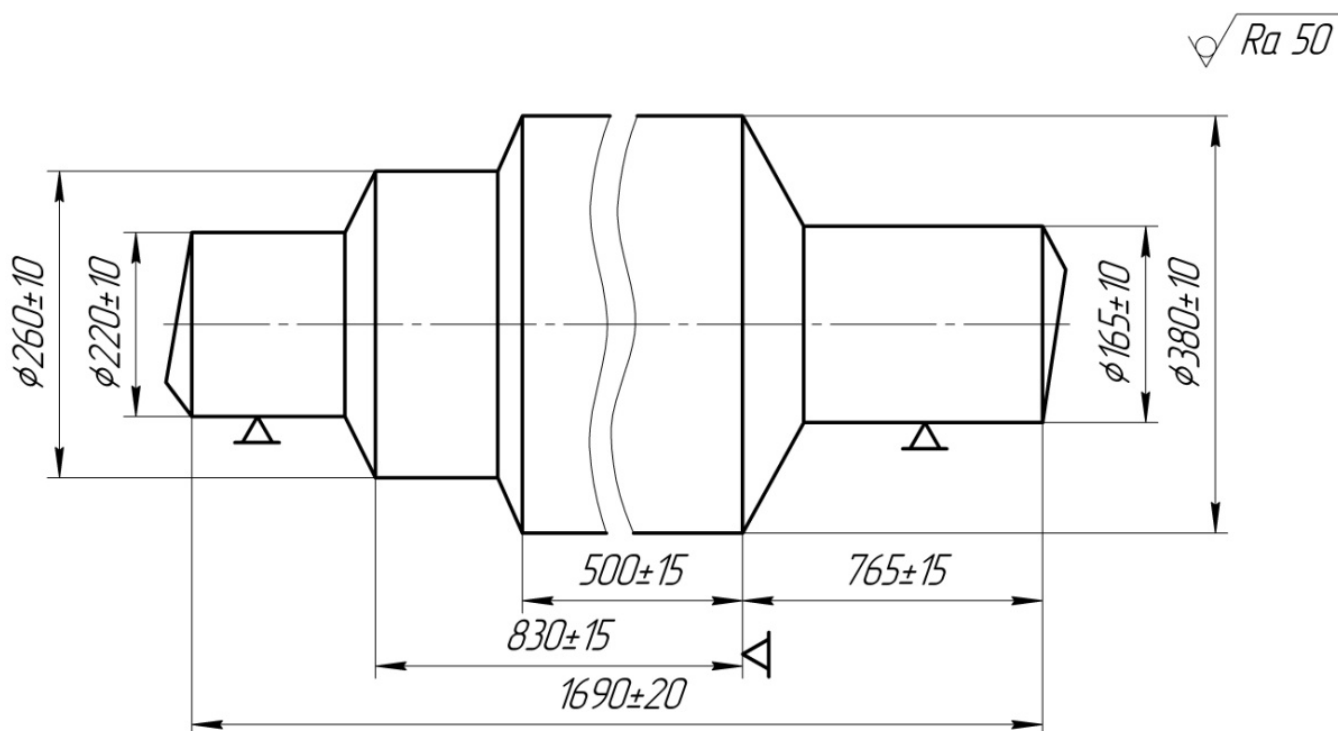


Рисунок 2.1 – Заготовка, що виготовлена ковкою на молоті

Порівняємо два можливих варіанта виготовлення заготовки.

1. Вартість S_n однієї заготовки виготовленої куванням на пресі:

$$\begin{aligned} S_n &= m_n \cdot C_{оз} \left(1 + \frac{a_{тз}}{100\%} \right) - (m_n - m_d) \cdot C_{от} = \\ &= 627 \cdot 5,355 \left(1 + \frac{5\%}{100\%} \right) - (627 - 497) \cdot 2,8 \cong 3162 \text{ грн.} \end{aligned}$$

2. Вартість S_m однієї заготовки виготовленої куванням на молоті:

$$\begin{aligned} S_m &= m_m \cdot C_{оз} \left(1 + \frac{a_{тз}}{100\%} \right) - (m_m - m_d) \cdot C_{от} = \\ &= 745 \cdot 5,355 \left(1 + \frac{5\%}{100\%} \right) - (745 - 497) \cdot 2,8 \cong 3492 \text{ грн.} \end{aligned}$$

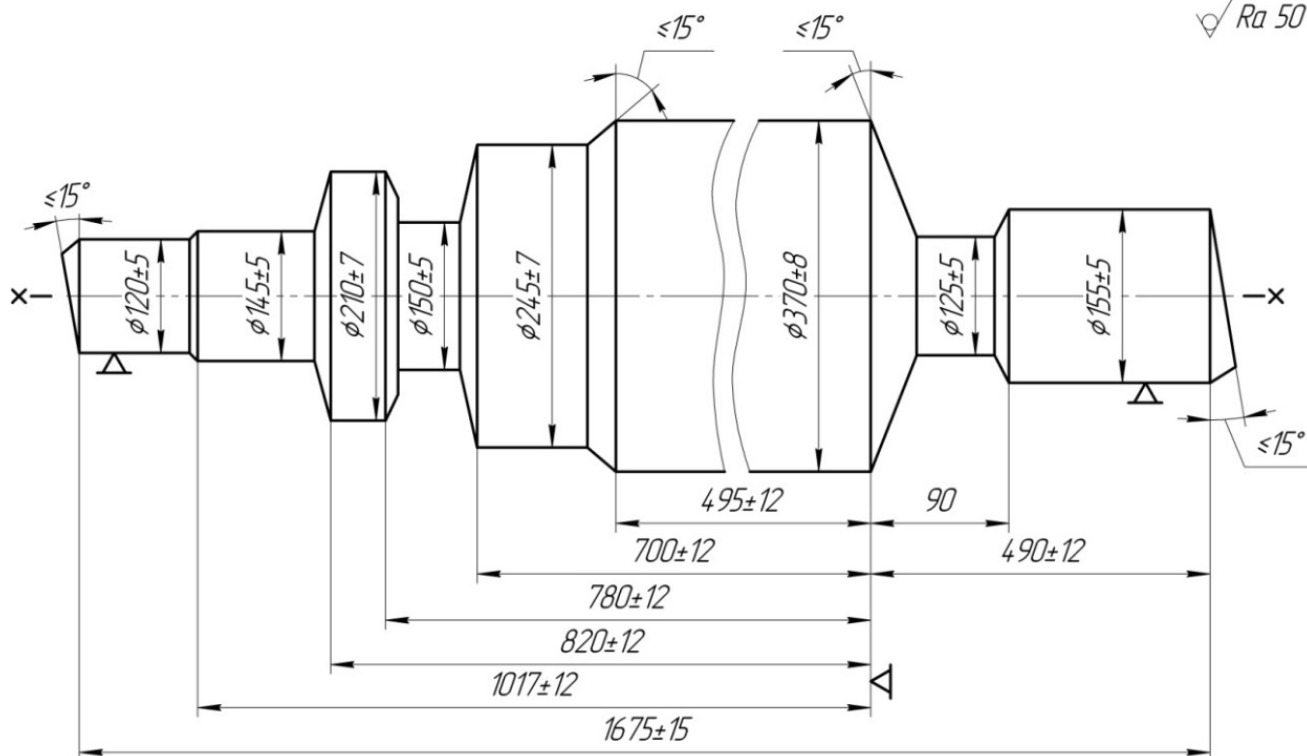


Рисунок 2.2 – Заготовка, що виготовлена ковкою на пресі

Оптова ціна одного кілограма заготовки $\text{Ц}_{\text{оз}}$ визначається за формулою:

$$\begin{aligned}\text{Ц}_{\text{оз}} &= \frac{\text{Ц}_{\text{ир}}}{1000} \cdot \text{К}_{\text{мз}} \cdot \text{К}_{\text{сл}} \cdot \text{К}_{\text{оп}} \cdot \left(1 + \frac{b_{\text{тз}}}{100\%}\right) = \\ &= \frac{8500}{1000} \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{5\%}{100\%}\right) = 5,355 \text{ грн},\end{aligned}$$

де $\text{Ц}_{\text{ир}} = 8500$ грн – вихідна розрахована оптова ціна однієї тони заготовки;

$a_{\text{тз}} = 5\%$ – показник, що враховує транспортні витрати на заготовку;

$\text{К}_{\text{мз}} = 0,6$ – коефіцієнт, що враховує масу заготовки;

$\text{К}_{\text{сл}} = 1$ – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки;

$\text{К}_{\text{оп}} = 1$ – коефіцієнт, що враховує об'єм виробництва (група серійності);

$b_{\text{тз}} = 5\%$ – показник, що характеризує точність заготовки;

$\text{Ц}_{\text{от}} = 2,8$ грн – ціна одного кілограма відходів.

Якщо $S_{\text{м}}=3492$ грн $>$ $S_{\text{н}}=3162$ грн, то беремо поковку, яка виготовлена ковкою на пресі.

Далі розроблюємо креслення заготовки виготовленої на пресі. Розрахунок конструктивних елементів заготовки виконуємо згідно ГОСТ 7062–79 [8].

Деталь має більше двох уступів, тому за основний перетин приймаємо найбільший діаметр $D=350$ мм. Для поковок II групи точності [8] за таблицею 3 визначаємо основні, а за таблицею 6 допоміжні припуски і допуски на діаметральні і лінійні розміри (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Визначення розмірів заготовки (в міліметрах)

Діаметр і лінійний розмір деталі на кресленні	Основний припуск і відхилення $\pm T/2$	Допоміжний припуск (таблиця 6)	Розмір заготовки	
			Розрахований	На кресленні
Ø350	22±8	-	372±8	370±8
Ø120	14±5	9	143±5	155±5
Ø124	14±5	9	147±5	
Ø125	14±5	9	148±5	
Ø135	14±5	8	157±5	
Ø100 (виїмка)	14±5	9	123±5	125±5
Ø220	18±7	5	243±7	245±7
Ø210	18±7	5	233±7	
Ø110	14±5	9	133±5	145±5
Ø120	14±5	9	143±5	
Ø185	17±7	7	209±7	210±7
Ø98,6	14±5	9	121,6±5	120±5
M80	14±5	10	104±5	
Ø125(виїмка)	14±5	9	148±5	150±5
460	33±12	-	493±12	495±12
670	30±12	-	700±12	700±12
484	4,5±12	-	488,5±12	490±12
120(виїмка)	27	-	93	90
780(670+110)	3,75±12	-	783,75±12	780±12
790(670+110+10)	29,25±12	-	819,25±12	820±12
990(670+110+10+210)	27±12	-	1017±12	1017±12
1631	42±15	-	1673±15	1675±15

За даними таблиці 2.2 виконаємо креслення заготовки, на якому запишемо технічні вимоги для її виготовлення (див. додаток Б, креслення 398Н–25–01).

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання.

Розрахуємо припуск і проміжні граничні розміри на обробку поверхні діаметром $120h7(0;-0,035)$ мм вала (див. креслення 398Н–25–01). На інші поверхні припуски і

допуски визначимо згідно ГОСТ 7062–90. Заготовка вала – поковка НВ143...197 II групи точності. Маса заготовки 627 кг, маса деталі 497 кг. Технологічний маршрут обробки зовнішньої поверхні діаметром 120h7 складається із чорнового, чистового точіння і шліфування.

Вихідними даними для розрахунку є чисельні дані елементів припуску, що відповідають кожному технологічному переходу. Заготовка оброблюється на операціях, де вона установлюється (базується) на центра, тому похибка установки в радіальному напрямку $\varepsilon_y=0$ [5, с. 89].

1. Беремо значення R_z і H [5, т. 4.5, с. 64]:

чистове шліфування $R_z=5$ мкм; $H=15$ мкм; $T_{\text{шл}}=35$ мкм;

чистове точіння $R_z=30$ мкм; $H=30$ мкм; $T_{\text{чист}}=87$ мкм;

чорнове точіння $R_z=100$ мкм; $H=100$ мкм; $T_{\text{чорн}}=350$ мкм;

обробка тиском $R_z=400$ мкм; $H=400$ мкм; $T_3=10000$ мкм (± 5000 мкм).

2. Визначаємо остаточні просторові відхилення ρ [5, с. 73, с. 89].

Сумарне відхилення ρ_3 заготовки:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2} = \sqrt{3^2 + 0,34^2 + 5^2} = 2,84 \text{ мм},$$

де $\rho_{\text{зм}}=0,3 \cdot T_3=0,3 \cdot 10=3$ мм – зміщення поверхонь заготовки;

$\rho_{\text{ж}}=\Delta_k \cdot l=1,0 \cdot 340=340$ мкм= $0,34$ мм – жолоблення заготовки;

$\Delta_k=1,0$ мкм/мм – питома кривизна заготовок [5, т. 4.8, с. 71];

$l=340$ мм – відстань від оброблюваного перетину до найближчої опори (центра);

$$\rho_{\text{ц}} = \sqrt{(T_3 / 2)^2 + 0,25^2} = \sqrt{(10 / 2)^2 + 0,25^2} = 5 \text{ мм} - \text{похибка центрування.}$$

Остаточні просторові відхилення [5, с. 73]:

після чорнового точіння $\rho_1=0,06 \cdot 5,84=0,35$ мм= 350 мкм;

після чистового точіння $\rho_2=0,04 \cdot 5,84=0,234$ мм= 234 мкм.

3. Виконаємо розрахунок припусків на ЕОМ (див. додаток В до пояснювальної записки). Результати розрахунків наведені на рисунку 2.3.

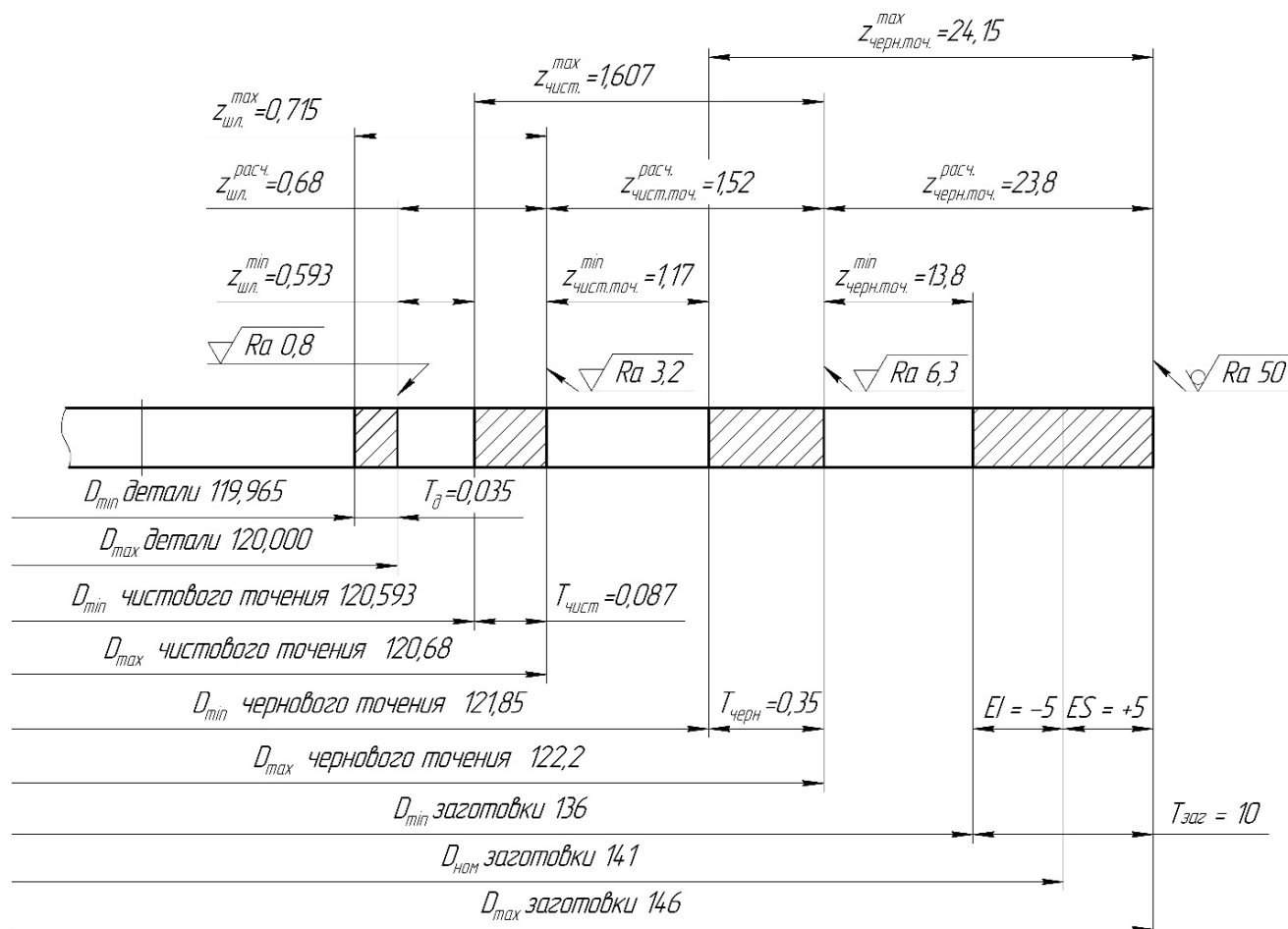


Рисунок 2.3 – Схема припусків і допусків на діаметр 120h7

2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Операція 020 «Токарно-гвинторізна». Операція виконується на верстаті моделі 1А64. Схеми базування заготовки на операції (установ А) наведені на рисунку 2.4.

Аналіз можливих схем базування заготовки на токарно-гвинторізній операції показав, що можна реалізувати дві схеми.

Схема №1. Заготовка установлюється на центра: передній «плаваючий», задній – «обертювий», а торець 1 стикається із плоскою поверхнею патрона. Крутний момент заготовки передається повідковим патроном. Схеми відповідності та матриця зв'язків наведені відповідно в таблицях 2.3 і 2.4.

Таблиця 2.3 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Степінь позбавлення вільності	База, характер проявлення
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ, прихована
5	I	ОБ, явна
6	Вакансія	–

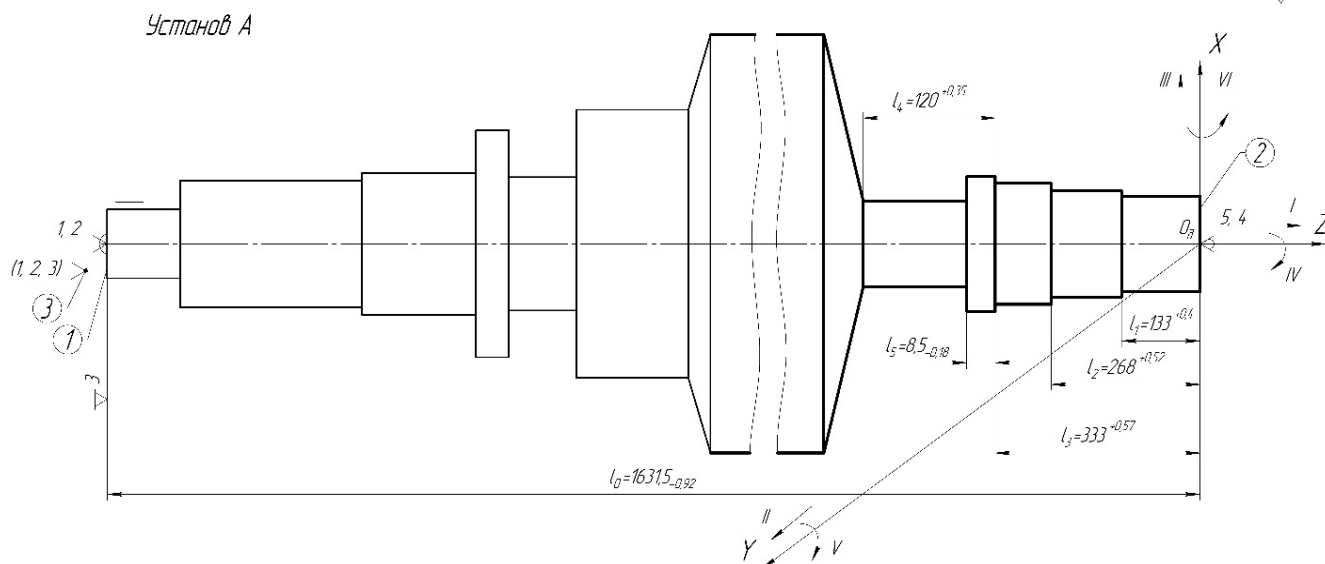


Рисунок 2.4 – Схеми установки заготовки на операції 020. Цифри в дужках – другий (альтернативний) варіант установки заготовки

Таблиця 2.4 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / l, α	X	Y	Z	База
1	1	1	0	ПНБ
α	1	1	0	
1	0	0	1	ОБ
α	0	0	0	
1	0	0	0	—
α	0	0	0	
Всього	2	2	1	5 зв'язків

В наведеній схемі торець 1 – технологічна база (ТБ), торець 2 – вимірювальна база (ВБ). При налагодженні різця на виконання розмірів l_1, \dots, l_5 від ТБ виникає похибка базування $\mathcal{E}_\delta = T_{l_0} = 0,92$ мм, яка є більшою ніж допуски T_{l_1}, \dots, T_{l_5} операційних розмірів. Якщо обробку поверхонь виконувати за методом автоматичного отримання розмірів на попередньо налагоджувальному верстаті, то точність операційних розмірів не буде витримана. При суміщенні ТБ і ВБ похибка базування для розмірів l_1, \dots, l_5 $\mathcal{E}_\delta = 0$. Налагоджувати різець на розмір можна за методом пробних ходів із наступними пробними вимірюваннями. У цьому випадку точність розмірів l_1, \dots, l_5 буде забезпечена.

Схема №2. Заготовка установлюється на два центра: передній – «жорсткий», задній – «обертовий». На рисунку 2.4 цифри в дужках позначають другий варіант базування заготовки. Схеми відповідності та зв'язків наведені в таблицях 2.5 і 2.6.

Таблиця 2.5 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Степінь позбавлення вільності	База, характер проявлення
1, 2, 3, 4, 5	I, II, III, V, VI	ПНБ + ОБ, прихована
6	Вакансія	-

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / 1, α	X	Y	Z	База
1	1	1	1	ПНБ + ОБ
α	1	1	0	
1	0	0	0	-
α	0	0	0	
Всього	2	2	1	5 зв'язків

В схемі №2 торець 2 – ВБ, а шпичок переднього центра 3 – ТБ. У цьому випадку, розташування торця 1 заготовки у вибраній системі координат не визначено. На точність розмірів вплине допуск довжини заготовки T_{l_0} та допуск T_{α} довжини центрального отвору. Тоді загальна похибка базування ε_0 буде складати

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_{T_{l_0}} + \varepsilon_{T_{\alpha}} = 0,92 + 0,312 = 1,232 \text{ мм},$$

$$\text{де } \varepsilon_{T_{\alpha}} = \frac{T_{D_{\alpha}}}{2 \tan(\alpha/2)} = \frac{0,36}{2 \tan(60^\circ/2)} = 0,312 \text{ мм}.$$

Похибка базування $\varepsilon_0 = 0,312$ мм перевищує допуск T_{l_1}, \dots, T_{l_5} (0,18, ..., 0,57 мм) і тому точність операційних розмірів не витримується. Щоб виключити похибку базування $\varepsilon_0 = 1,232$ мм треба сумістити ВБ і ТБ і тоді відлік розмірів буде виконуватися від бази 2 заготовки.

Таким чином, наведені схеми базування реалізуються у випадку, якщо відлік розмірів виконувати від торця 2, який є ВБ і ТБ одночасно. Із розглянутих схем базування, приймемо схему №1, як більш точну, а обробку вести методом пробних ходів із наступними пробними вимірюваннями. Налагодження на виконання кожного операційного розміру треба виконувати від бази 2 заготовки.

2. Операція 030 «Вертикально-фрезерна». Операція виконується на верстаті моделі 6А59. Схеми базування заготовки на операції наведені на рисунку 2.5.

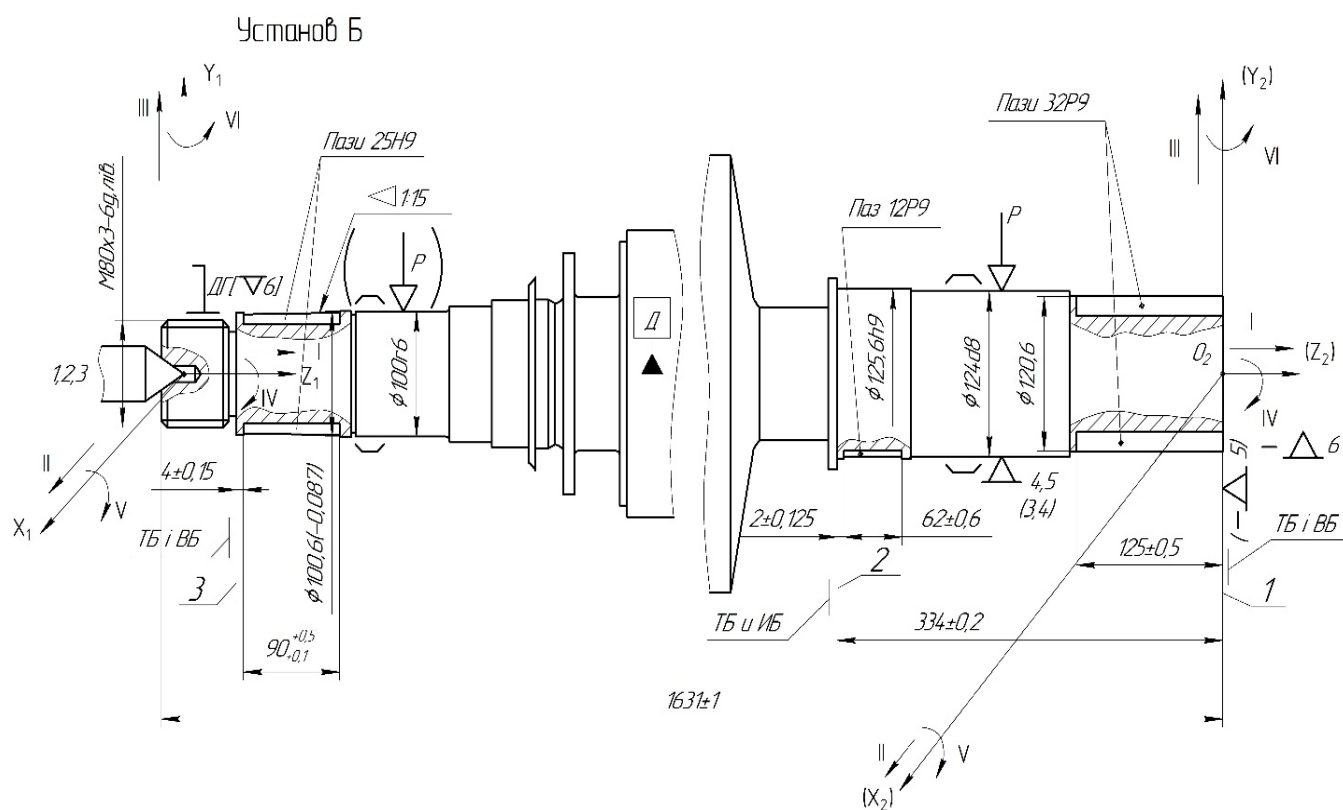


Рисунок 2. 5 – Схеми установки заготовки на операції 030. В дужках схема №2

. Аналіз виконується для схеми базування, яка наведена на установі Б. На установі Б можна реалізувати дві схеми базування.

Схема №1. Заготовка установлюється в спеціальний пристрій, який складається із ділильної поворотної головки (ДГ) і призми з затискним приводом. Ділильна головка жорстко з'єднана хомутиком через різьбове кільце з поверхнею М80×3–6g, ліва. В центровий отвір заготовки В8 вводиться жорсткий центр, який центрує її уздовж осі Д. Права частина заготовки поверхнею діаметром 124d8 базується на призму. Для виключення зміщення при обробці заготовка затискається призматичним затискачем, який розташований супротив опорних поверхонь призми. Схеми відповідності та зв'язків в системі координат $O_1X_1Y_1Z_1$ наведена в таблицях 2.7 и 2.8.

Таблиця 2.7 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Степінь позбавлення вільності	База, характер проявлення	Кількість позбавлених степенів вільності	
			Установ А	Установ Б
1, 2, 3	I, II, III	ОЦБ, явна	5	6
4, 5	V, VI	ПОБ, явна		
6	IV	ОБ, прихована	Вакансія	

Таблиця 2.8 – Матриця зв'язків (установ Б)

X, Y, Z / 1, α	X ₁	Y ₁	Z ₁	База
1	1	1	1	ОЦБ
α	0	0	0	
1	0	0	0	ПОБ
α	1	1	0	
1	0	0	0	ОБ
α	0	0	1	
Всього	2	2	2	6 зв'язків

За схемою №1 на установі А оброблюються послідовно три паза 32P9, 12P9, 25H9 (на рисунку 2.5 вони розташовані знизу заготовки). На установі А кутове розташування пазів ($0_1Z_1, IV$) може бути незалежним від інших поверхонь вала.

Тому заготовка позбавлена 5-ти степенів вільності: трьох переміщень – опорно-центрувальна база (ОЦБ) і двох обертів – подвійна опорна база (ПОБ). За наведеною схемою координуються вісь вала Д із напрямом повздовжнього переміщення стола верстата, що забезпечує точність паралельного розташування бокових поверхонь шпонкових пазів уздовж осі вала Д.

Обробка двох останніх пазів 32P9 і 25H9 відбувається на установі Б. Для цього вал треба додатково базувати по кутовій координаті $0_1Z_1, IV$. За цією схемою заготовка позбавляється 6-и степенів вільності. В ділільному механізмі ДГ передбачений ромбічний фіксатор, який фіксує розташування вала після його повороту на кут $180^\circ \pm 5'$, що дозволяє забезпечити вимоги креслення (кут $90^\circ \pm 5'$). На рисунку 2.5 база [∇ 6] показана в квадратних дужках.

Точність розмірів ширини пазів 12P9; 32P9; 25H9 забезпечуються точністю розмірів різальної частини «мірних» фрез. Точність глибини шпонкових пазів і їх довжина залежить від точності налагодження фрези на потрібний розмір. При

налагодженні на розміри $125 \pm 0,5$ мм, $62 \pm 0,6$ мм, $90(+0,5;+0,1)$ мм використовуються торцеві поверхні 1, 2, 3 до яких перед обробкою підводиться різальний інструмент. При суміщенні технологічної (ТБ) і вимірювальної (ВБ) баз похибка базування $\varepsilon_6=0$ і точність довжин пазів та їх розташування на осі координати 0_1Z_1 буде витримана. Точність розмірів глибини пазів будуть витримані, якщо інструмент налагоджувати від поверхонь відповідних діаметрів $120,6(0;-0,1)$ мм; $125,6(0;-0,1)$ мм; конічної поверхні $\varnothing 100,6(0;-0,087)$ із конусом 1:15 довжиною 98 мм. Таким чином, налагодження верстата на потрібні розміри способом «по лімбу верстата» забезпечить технічні вимоги креслення.

Перевагою схеми №1 є швидке установлення і переустановлення вала при його обробки на установках А і Б. Для цього треба повернути вал навколо осі Д на конічній частині центра і поверхнях призми.

За схемою №2 вал базується поверхнями $\varnothing 100r6$ і $\varnothing 124d8$ на двох призмах і торцевою поверхнею 1 по упору пристрою. При переустановленні вала на кут $180^\circ \pm 5'$ треба застосувати допоміжний упор, який обмежує його кутове переміщення навколо осі 0_2Z_2 . Затиснення заготовки відбувається по поверхням $\varnothing 124d8$ і $\varnothing 100r6$, сили затискання Р будуть розташовані супротив опорних поверхонь призм. Схеми відповідності та зв'язків в системі координат $0_2Z_2X_2Y_2$ наведена в таблицях 2.9 і 2.10.

Таблиця 2.9 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Степінь позбавлення вільності	База, характер проявлення	Кількість позбавлених степенів вільності	
			Установ А	Установ Б
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ, явна	5	6
5	I	ОБ, явна		
6	IV	ОБ, явна	Вакансія	

Таблиця 2.10 – Матриця зв'язків (установ Б)

X, Y, Z / 1, α	X_2	Y_2	Z_2	База
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	1	1	0	ПНБ
α	1	1	0	

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5
1	0	0	1	ОБ
α	0	0	0	
1	0	0	0	ОБ
α	0	0	1	
Всього	2	2	2	6 зв'язків

За схемою №2 на установі А заготовка позбавлена п'яти степенів вільності: двох обертів і двох переміщень (ПНБ) та одного переміщення (ОБ). Як і за схемою №1 вісь вала Д координується із напрямом повздовжнього переміщення стола верстата.

На установі Б в схему базування додатково вводиться база (∇ б), яка позбавляє заготовку шостої степені вільності (ОБ). Наведена схема також забезпечує технічні вимоги креслення. Але при переустановленні вала виникає складність його повороту навколо осі Д, що значно збільшує допоміжний час операції.

Таким чином, із двох запропонованих схем базування приймаємо схему №1, яка буде реалізована на операції 030 «Вертикально-фрезерна».

2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Металорізальне обладнання вибирається залежно від от типу виробництва, габаритів і точності розмірів оброблювальних заготовок, можливості реалізації вибраної схеми базування і закріплення заготовок.

Для операції 020 «Токарно-гвинторізна» вибраний токарно-гвинторізний верстат моделі 1А64 [5, т. 4.7, с. 163–164]. Для операції 030 «Вертикально-фрезерна» вертикально-фрезерний верстат моделі 6А59 [9, т. 38, с. 52–53]. Технічні характеристики верстатів наведені в таблицях 2.11 і 2.12.

Таблиця 2.11 – Технічна характеристика верстата моделі 1А64

Найменування параметру	Величина
1	2
Найбільший діаметр обробки над станиною, мм	800
Відстань між центрами, мм	2800
Найбільший розмір оброблювальної заготовки над супортом, мм	480
Кількість ступенів частоти обертання шпинделя	24
Частота обертання шпинделя, об/хв	7,1–750
Кількість ступенів подач: повздовжніх і поперечних	32

Продовження таблиці 2.11

1	2
Подача на один оберт шпинделя, <i>мм/об</i> : повздовжніх поперечних	0,2–3,05 0,07–1,04
Найбільший перетин різця в різцетримачі супорта, <i>мм</i>	45 x 45
Потужність електродвигуна, <i>кВт</i>	22

Таблиця 2.12 – Технічна характеристика верстата моделі 6А59

Найменування параметру	Величина
Розміри робочої поверхні стола (ширина, довжина), <i>мм</i>	1000 x 2500
Внутрішній конус шпинделя (згідно ГОСТ 15945–82), <i>мм</i>	60
Кількість швидкостей шпинделя.....	18
Частота обертання шпинделя, <i>об/хв</i>	25–1250
Найбільше переміщення стола, <i>мм</i> : повздовжнє..... поперечне.....	2000 1000
Подача стола (безступеневе регулювання), <i>мм/об</i>	2,5–2200
Подача шпиндельної бабки, <i>мм/хв</i>	0,6–550
Потужність електродвигуна привода головного руху, <i>кВт</i>	22

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

Операція 020 «Токарно-гвинторізна».

1. Для передачі крутного моменту від шпинделю верстата до заготовки і її затиснення використовується патрон 7108–0026 ГОСТ 2571–71; для базування заготовки застосовуються два центра – передній із пружиною, який входить у комплект повідкового патрона і задній, обертовий. Умовне позначення обертового центра: центр 7032-4005 ГОСТ 8742–75.

2. Для точіння шийок вала застосовуються наступний інструмент:

різець 2102–0007 Т5К10 ГОСТ 18878–73, прохідний, відігнутий, правий;

різець 2103–0007 Т5К10 ГОСТ 18879–73, прохідний, упорний, відігнутий з кутом в плані 90°, правий;

різець 2103–0008 Т5К10 ГОСТ 18879–73 лівий;

різець фасонний, спеціальний з пластиною із сталі Р6М5 ГОСТ 19265–73 (для прорізання шийок діаметрами 125 і 100 мм);

різець прорізний, спеціальний з пластиною із твердого сплаву Т5К10;

3. Для вимірювання діаметральних і лінійних розмірів заготовки, шорсткості поверхонь використовується:

штангенциркуль ШЦ–II–400–0,1 ГОСТ 166–89;

лінійка вимірювальна П–1000 ГОСТ 427–75;

зразки шорсткості ГОСТ 9378–75.

Операція 030 «Вертикально-фрезерна».

1. Для установлення і закріплення вала розроблений спеціальний пристрій для фрезерування шпонкових пазів, який складається із ділильної головки та призми (дивись параграф 2.9 пояснювальної записки).

2. Для фрезерування пазів 25Н9 використовується шпонкова фреза із сталі Р9К5, діаметром 25е8, кількістю зубців $Z=2$ згідно ГОСТ 9140–78, тип 2, з конічним хвостовиком Морзе 3. Для фрезерування пазів 32Р9 застосовується шпонкова фреза із сталі Р9К5, діаметром 32е8, кількістю зубців $Z=2$ згідно ГОСТ 9140–78, тип 2, з конічним хвостовиком Морзе 1. Для встановлення інструмента у шпиндель верстата застосовуються перехідні втулки (умовне позначення 191831042 і 191831053) для інструментів с конусом Морзе 1 та 3 згідно ТУ 2 035–762–80 (2 штуки).

3. Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ–I–125–0,1 ГОСТ 166–89; калібр-пробки гладкі: Ø32Р9; Ø12Р9; 25Н9 ПР/НЕ ГОСТ 14810–69; зразки шорсткості ГОСТ 9378–75.

2.7 Розрахунок режимів різання

Операція 020 «Токарно-гвинторізна». Оброблюється зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 155 \pm 5$ на прохід (довжина обробки 343 мм) до $\varnothing 137(0; -0,4)$ мм. Шорсткість поверхні $R_a = 6,3$ мкм. Різець прохідний, упорний, відігнутий з кутом в плані 90° (правий) згідно ГОСТ 18879–73. Різець прохідний, відігнутий з кутом 45° , з пластиною із твердого сплаву Т5К10 згідно ГОСТ 18868–73.

1. Глибина різання t , мм [9, с. 265]:

$$t = \frac{155 - 137}{2} = 9 \text{ мм.}$$

Приймаємо $t = 4,5$ мм, кількість ходів $i = 2$.

2. Подача $S = 0,7 - 1,2$ мм/об [9, т. 11, с. 266]. Приймаємо $S = 0,76$ мм/об, що співпадає із паспортними даними верстата.

3. Швидкість різання V , м/хв [9, с. 265]:

$$V = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} = \frac{340 \cdot 0,64}{60^{0,2} \cdot 0,76^{0,45} \cdot 4,5^{0,15}} = 86,7 \text{ м/хв},$$

де $C_v = 340$, $x = 0,15$; $y = 0,45$; $m = 0,2$ [9, т. 17, с. 269–270]; $T = 60$ хв [9, с. 268];

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v} \cdot K_{пх} \cdot K_{их} = 1 \left(\frac{750}{610}\right)^1 \cdot 0,8 \cdot 0,65 = 0,64;$$

$K_r = 1$; $n_v = 1,0$ [9, т. 2, с. 262]; $K_{nv} = 0,8$ [9, т. 5, с. 263];

$K_{iv} = 0,65$ [9, т. 5, с. 263]; $\sigma_B = 610$ МПа (див. табл. 1.5).

4. Визначимо частоту обертання заготовки n , об/хв:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 86,7}{3,14 \cdot 155} = 178,2 \text{ об/хв},$$

приймаємо $n_{\Pi} = 190$ об/хв, тоді

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\Pi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 155 \cdot 190}{1000} = 92,5 \text{ м/хв}.$$

5. Визначаємо силу різання $P_z(H)$ [9, с. 271]:

$$P_z = 10C_{Pz} \cdot t^{x_1} \cdot S^{y_1} \cdot V^{n_1} \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 4,5^1 \cdot 0,76^{0,75} \cdot 92,5^{-0,15} \cdot 0,86 = 4793H;$$

$$P_y = 10C_{Py} \cdot t^{x_2} \cdot S^{y_2} \cdot V^{n_2} \cdot K_p = 10 \cdot 243 \cdot 4,5^{0,9} \cdot 0,76^{0,6} \cdot 92,5^{-0,3} \cdot 0,86 = 1765H;$$

$$P_x = 10C_{Px} \cdot t^{x_3} \cdot S^{y_3} \cdot V^{n_3} \cdot K_p = 10 \cdot 339 \cdot 4,5^1 \cdot 0,76^{0,5} \cdot 92,5^{-0,4} \cdot 0,86 = 1871H;$$

$$\left. \begin{array}{l} C_{Pz} = 300; x_1 = 1,0; y_1 = 0,75; n_1 = -0,15 \\ C_{Py} = 243; x_2 = 0,9; y_2 = 0,6; n_2 = -0,3 \\ C_{Px} = 339; x_3 = 1,0; y_3 = 0,5; n_3 = -0,4 \end{array} \right\} [9, \text{ т. 22, с. 273-274};$$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,86 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,86;$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{610}{750}\right)^{0,75} = 0,86 [9, \text{ т. 9, с. 264};$$

$$\left. \begin{array}{l} K_{\phi p} = 1,0 (\text{для } P_z, P_y, P_x) \\ K_{\gamma p} = 1,0 (\text{для } P_z, P_y, P_x) \\ K_{\lambda p} = 1,0 (\text{для } P_z, P_y, P_x) \end{array} \right\} [9, \text{ т. 23, с. 275};$$

6. Визначаємо потужність різання N_e , кВт [9, с. 271]:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_\phi}{1020 \cdot 60} = \frac{4793 \cdot 92,5}{1020 \cdot 60} = 7,3 \text{ кВт.}$$

Порівняємо $N_e = 7,3 \text{ кВт} < N = N_e \cdot \eta = 22 \cdot 0,8 = 17,6 \text{ кВт}$ і зробимо висновок, що режим різання виконується.

7. Визначаємо основний T_0 (хв) переходу:

$$T_0 = \frac{L_p \cdot i}{S \cdot n_{\text{п}}} = \frac{348 \cdot 2}{0,76 \cdot 190} = 4,82 \text{ хв,}$$

де $L_p = l_0 + l_{\text{сп}} + l_{\text{неп}} = 343 + 2,5 + 2,5 = 348 \text{ мм}$ – розрахункова довжина, що складається із довжини обробки $l_0 = 343 \text{ мм}$, величини врізання $l_{\text{сп}} = 2,5 \text{ мм}$, величини перебігу $l_{\text{неп}} = 2,5 \text{ мм}$;

$i = 2$ – кількість ходів інструмента.

На інші переходи операції 020 режими різання визначалися табличним методом (див. табл. 2.13).

Таблиця 2.13 – Режими різання на операції 020

Номер поверхні	Номер P1	Режим різання					T_0 , хв
		t, мм	i	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	
1	PI 1	4,5	2	0,76	190	92,5	4,82
2	PI 1	4	2	0,76	82	95,3	16,1
3	PI 2	2,7	2	0,81	230	99	3,61
4	PI 2	0,75	1	1,22	230	92,2	0,97
5	PI 2	1,45	1	0,92	230	90,1	0,65
6	PI 3	30	4	0,07	82	32,2	9,06
7	PI 4	1,6	1	0,12	114	127 / 37	9,43
1	PI 2	5,25	2	0,76	134	103,1	4,085
2	PI 2	3	2	0,76	134	94,3	0,216
3	PI 1	5,5	2	0,76	160	105,5	0,74
4	PI 2	3,25	2	0,76	230	101,7	2,29
5	PI 3	30	4	0,07	67	31,6	11,94
6	PI 3	30	1	0,07	67	27,8	7,676
7	PI 2	5	1	0,76	230	95,3	0,933
8	PI 2	5	1	0,76	267	102,3	0,153
9	PI 2	5	1	0,76	267	93,9	0,33
10	PI 2	4,75	4	0,76	267	100,6	1,084
11	PI 5	6	1	0,07	375	96,6	0,38
12	PI 2	Напуск	2	0,12	375	120 / 101	4,67
13	PI 4	1,65	1	0,12	114	127 / 80	4,971
Всього							83,73

2. Операція 030 «Вертикально-фрезерна».

На операції послідовно фрезеруються п'ять пазів: два розміром 32P9; два розміром 25H9; один розміром 12P9. Розрахуємо режим різання для шпонкового паза розміром 32P9. Розмір довжини паза $l_0=125\pm 0,5$ мм.

1. Глибина фрезерування $t = 9$ мм; ширина фрезерування $B = 32$ мм; діаметр фрези $D = 32$ мм [9, с. 281–282].

2. Подача $S_z = 0,037$ мм/зуб – повздовжній рух стола верстата при фрезеруванні шпонкового паза за один хід [9, т. 38, с. 286]. Осьове врізання фрези на глибину шпонкового паза не призначаємо, тому що паз з однієї сторони – відкритий.

3. Швидкість різання V , м/хв:

$$V = \frac{C_v \cdot D^y \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} = \frac{12 \cdot 32^{0,3} \cdot 0,96}{120^{0,26} \cdot 9^{0,3} \cdot 0,037^{0,25} \cdot 32^0 \cdot 2^0} = 11,1 \text{ м/хв}$$

де $C_v = 12$; $q = 0,3$; $x = 0$; $y = 0,25$; $u = 0$; $p = 0$; $m = 0,26$ [9, т. 36, с. 286–290];

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,96;$$

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{610} \right)^{0,9} = 1,2 \text{ [9, т.1, с.261]; } K_r = 1,0;$$

$n_v = 0,9$ [9, т. 2, с. 262]; $\sigma_B = 610$ МПа; $HB = 197$; $K_{rv} = 0,8$; $K_{iv} = 1,0$ [9, т. 5; 6, с. 263].

4. Визначаємо кількість обертів фрези:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 11,1}{3,14 \cdot 32} = 110,5 \text{ об/хв,}$$

приймаємо $n_n = 125$ об/хв [5, т. 4.36, с. 189–190], тоді

$$V_\phi = \frac{\pi D n_n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 32 \cdot 125}{1000} = 12,6 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо повздовжню хвилинну подачу:

$$S_{мпр} = S_z \cdot Z \cdot n_n = 0,037 \cdot 2 \cdot 125 = 9,25 \text{ мм/хв.}$$

6. Визначаємо силу різання P_z (Н):

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

$$= \frac{10 \cdot 62,8 \cdot 9^{0,86} \cdot 0,037^{0,72} \cdot 32^1 \cdot 2}{32^{0,86} \cdot 125^0} \cdot 0,94 = 1282 \text{ Н,}$$

де $C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1$; $q = 0,86$; $w = 0$ [9, т. 41, с. 291];

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,3} = 0,94;$$

$n=0,3$ [9, т. 9, с. 264].

Визначаємо значення складових сили різання P_z ;

$$\left. \begin{aligned} P_h &= (0,6 - 0,8)P_z = 0,8 \cdot P_z = 0,8 \cdot 1282 = 1026H; \\ P_v &= (0,6 - 0,7)P_z = 0,7 \cdot P_z = 0,7 \cdot 1282 = 898H; \\ P_y &= (0,3 - 0,4)P_z = 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 1282 = 513H; \\ P_x &= (0,5 - 0,55)P_z = 0,55 \cdot P_z = 0,55 \cdot 1282 = 705H; \end{aligned} \right\} [9, т. 42, с. 289].$$

7. Розраховуємо оправку фрези на вигін:

$$P_{yz} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2} = \sqrt{513^2 + 1282^2} = 1381 \text{ Н.}$$

8. Визначаємо крутний момент $M_{кр}$, (Н·м):

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{1282 \cdot 32}{2 \cdot 1000} = 20,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

9. Визначаємо потужність різання (ефективну) N_e , кВт:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_\phi}{1020 \cdot 60} = \frac{1282 \cdot 12,6}{1020 \cdot 60} = 0,27 \text{ кВт.}$$

Якщо $N_e = N \cdot \eta = 22 \cdot 0,75 = 16,5 \text{ кВт} > N_e = 0,27 \text{ кВт}$, то обробка можлива.

10. Визначаємо основний (машинний) час T_{01} , (хв), переходу:

$$T_{01} = \frac{L_p \cdot i \cdot m}{S_{мп}} = \frac{127,5 \cdot 1 \cdot 2}{9,25} = 27,7 \text{ хв,}$$

де $L_p = l_0 + l_{сп} + l_{пер} = 125 + 2,5 + 0 = 127,5$ мм – розрахункова довжина обробки; величина врізання $l_{сп} = 2,25$ мм; величина перебігу $l_{пер} = 0$;

$i=1$ – кількість ходів інструмента;

$m=2$ – кількість пазів; $S_{мп} = 9,25$ мм/хв – повздовжня подача.

На інші переходи операції 030 режими різання визначалися табличним методом (див. табл. 2.14).

Таблиця 2.14 – Режими різання на операції 030

Номер поверхні	Номер ПІ	Режим різання						T ₀ , хв
		t, мм	i	S _z , мм/зуб	S _{мпр} , мм/хв	n, об/хв	V, м/хв	
1, 4	PI 1	9	1	0,037	9,25	125	12,6	27,7
2	PI 3	4,5	1	S _{зв} =0,009 S _{зпр} =0,026	S _{мв} =7,2 S _{мпр} =16,38	n _в =400 n _{пр} =315	V _в =15,1 V _{пр} =11,9	4,1
3, 5	PI 2	7,5	1	S _{зв} =0,012 S _{зпр} =0,036	S _{мв} =4,8 S _{мпр} =11,52	n _в =200 n _{пр} =160	V _в =15,7 V _{пр} =12,6	16,1
Всього								47,9

2.8 Технічне нормування операцій

1. Визначимо штучно-калькуляційний час T_{ш-к} час на операцію 020 [5]:

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

де T_{п-з} = 10+1+10 = 21 хв – підготовчо-завершальний час [5, т. 6.3, с. 215–216];

T_o = 83,7 хв – основний час операції;

$$T_d = 1,85(T_{уз} + T_{зв} + T_{кер} + T_{вим}) = 1,85(3 + 5,7 + 3,145 + 2,64) = 26,8 \text{ хв};$$

T_{уз} = 3,0 хв – час установлення в центрах і зняття заготовки масою до 500 кг;

T_{зв} = 5,7 хв – час закріпити і відкріпити заготовку в повідковому патроні;

T_{кер} = 0,01+0,025·19+0,14·19 = 3,145 хв – час керування верстатом і дії, що пов'язані із переміщенням робочих частин верстата [5, т. 5.8; 5.9, с. 202–206];

T_{вим} = 0,25+0,16+0,14+0,13·3+0,06·2+0,08·0,04+0,012+0,14·3+0,230,17+0,13·4 = 2,64 хв – час вимірювання розмірів заготовки штангенциркулем, шаблоном і вимірювальною лінійкою [5, т. 5.14; 5.16, с. 208–209];

1,85 – коефіцієнт, який враховує нормативи допоміжного часу, наведеного для масового виробництва [5, с. 101–102];

N_п = 7 шт. – кількість деталей в партії для одночасного запуску у виробництво.

Оперативний час T_{оп} = T_o + T_d = 83,7 + 26,8 = 110,5 хв.

Час обслуговування робочого місця і відпочинок складає П = 7% від оперативного часу [5, т. 6.1, с. 214–215], тоді

$$T_{об} + T_{від} = \frac{П \cdot T_{оп}}{100\%} = \frac{7 \cdot 110,5}{100} = 7,8 \text{ хв.}$$

$$T_{ш-к} = \frac{21}{7} + 83,7 + 26,8 + 7,8 = 122,5 \text{ хв.}$$

2. Визначимо штучно-калькуляційний $T_{ш-к}$ час на операцію 030 [5]:

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

де $T_{п-з} = 21+4+10=35$ хв – підготовчо-завершальний час (21 хв – налагодження верстата і установа пристрою; 4 хв – установка фрез; 10 хв – отримання інструмента і пристроїв до начала і віддання їх після обробки партії деталей) [5, т. 6.5, с. 217–218];

$N_{п} = 7$ шт. – кількість деталей в налагоджувальній партії;

$T_o = 47,8$ хв – основний час операції;

$$T_d = 1,85(T_{уз} + T_{зв} + T_{кер} + T_{вим}) = 1,85(10,1 + 2,8 + 0,9 + 1,6) = 28,5 \text{ хв};$$

$T_{уз} = 10,1$ хв – час установки і зняття деталі [5, т. 5.6, с. 199–201];

$T_{зв} = 2,8$ хв – час закріплення і відкріплення деталі [5, т. 5.7, с. 201–202];

$T_{кер} = 3 \cdot (0,01+0,04+0,04+0,21) = 0,9$ хв – час керування верстатом, який пов'язаний із трьома переходами [5, т. 5.8, т. 5.9, с. 202–206];

$T_{вим} = 0,09 \cdot 2 + 0,07 + 0,11 \cdot 2 + 0,21 \cdot 3 + 0,16 + 0,17 \cdot 2 = 1,6$ хв – час вимірювання штангенциркулем і калібр-пробкою гладкою [5, т. 5.10, 5.12, с. 206–207];

1,85 – коефіцієнт, який враховує нормативи допоміжного часу наведеного для масового виробництва [5, с. 101–102].

Оперативний час $T_{оп} = T_o + T_d = 47,8 + 28,5 = 76,3$ хв;

$T_{об} + T_{від} = П\% \cdot T_{оп} = 7\% \cdot 76,3 = 0,07 \cdot 76,3 = 5,4$ хв – час обслуговування робочого місця, відпочинку і особистих потреб (визначається в процентах від оперативного часу) [5, т. 6.1, с. 214–215].

$$T_{ш-к} = \frac{35}{7} + 76,3 + 28,5 + 5,4 = 117,2 \text{ хв.}$$

2.9 Проектування верстатного пристрою для фрезерування

2.9.1 Обґрунтування мети операції і завдання на проектування.

На операції 030 «Вертикально-фрезерна» послідовно фрезеруються п'ять пазів: шириною 32P9, 12P9, 25H9; глибиною 9 мм, 4,5 мм, 7,5 мм (max); довжиною

125±0,5 мм, 62±0,6 мм, 90(+0,5;+0,1) мм. Вимоги до точності розташування пазів відносно головних осей Е, Ж вала наведені на кресленні 398Н–25–01.

Аналіз технічних вимог креслення наведених до шпонкових пазів не викликає складності при їх виготовленні методом фрезерування. В розділі 2.4 запропонована оптимальна схема базування і закріплення вала на операції, а в розділі 2.7 виконаний розрахунок режимів різання, де визначена найбільша сила різання, яка виникає при обробки двох пазів розміром 32Р9.

Складові сили різання: $P_z=1282$ Н; $P_v=898$ Н; $P_h=1026$ Н; $P_x=705$ Н; $P_y=513$ Н; $P_{yz}=1381$ Н (див рис. 2.6).

Обробка пазів виконується «мірним» інструментом – кінцевими фрезами: $\varnothing 32e8$; $\varnothing 12e8$; $\varnothing 25e8$. Аналіз вихідних даних показав, що для реалізації запропонованої схеми фрезерування треба спроектувати спеціальний пристрій, а при цьому вирішити наступні задачі.

1. Забезпечити мінімальний час устанавлення, базування, закріплення, переустанавлення, розкріплення і зняття заготовки в пристрої.

2. Забезпечити мінімальний час переустанавлення заготовки та точність її обертання на кут в межах $90^\circ \pm 5'$, для забезпечення технічних вимог креслення.

3. Забезпечити вільний доступ різальних інструментів до оброблювальних поверхонь шпонкових пазів при налагоджуванні і при їх обробки.

4. Забезпечити постійне силове закріплення заготовки із урахуванням змінювання напрямку дії сил різання та їх скалярних величин.

2.9.2 Розроблення і обґрунтування схем базування і закріплення заготовки.

При розробленні схем базування і закріплення заготовки треба враховувати:

1) масу вала і місце розташування більшої її частини у середній ступені вала $\varnothing 359 \times 460$ мм;

2) велику довжину вала 1631 ± 1 мм, а також велику відстань (max 1577 мм) розташування один від одного оброблювальних шпонкових пазів розмірами 32Р9 і 25Н9. Це потребує переміщення стола з заготовкою у повздовжньому напрямку на відстань 1583 мм;

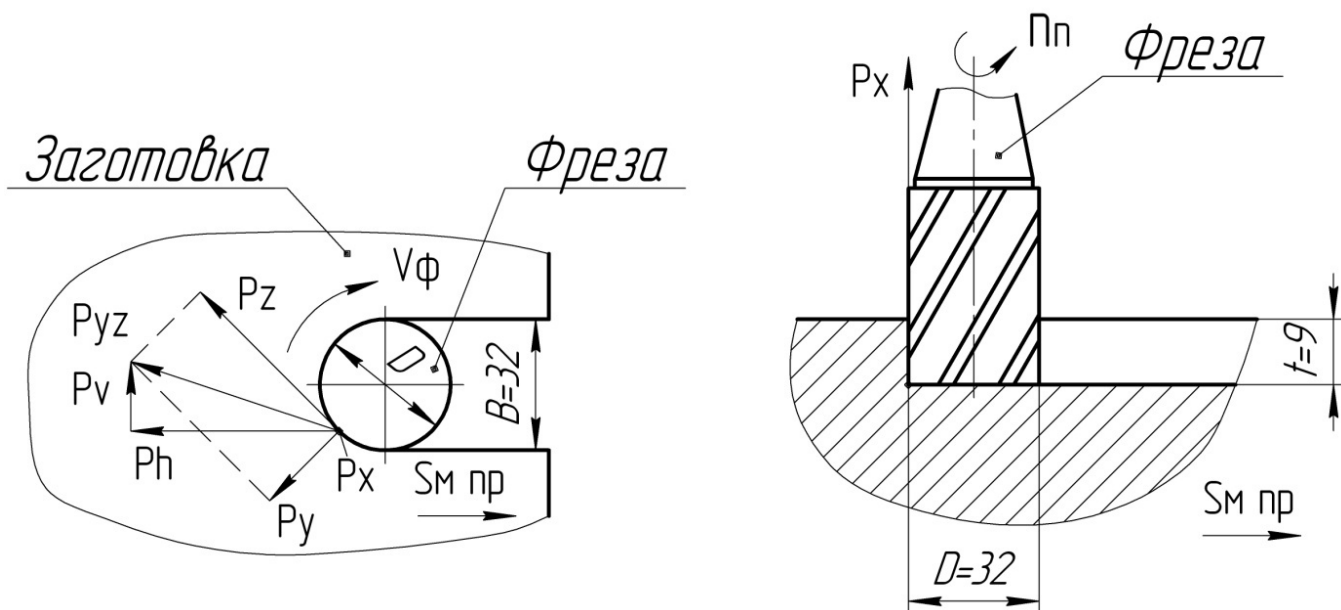


Рисунок 2.6 – Сили різання при фрезеруванні шпонковою фрезою

- 3) можливість суміщення окремих поверхонь, які виконують функції базування та закріплення заготовки, в одну поверхню $\varnothing 124d9(-0,145;-0,245)$ мм;
- 4) можливість реалізації осі центрів Е вала и осей перетинів А–А і Г–Г (вісь Ж), які виконують функції прихованих баз заготовки, у якості явних баз.

Базовими поверхнями прийняті циліндрична поверхня $\varnothing 124d9(-0,145;-0,245)$ довжиною 135 мм і конічна частина отвору В8 ГОСТ 14034–74. Центровий отвір є опорно-центрувальною базою і позбавляє заготовку трьох степенів вільності – переміщення уздовж осей ОХ, ОУ, ОZ (див. рис. 2.5). Поверхня $\varnothing 124d9$ є подвійною опорною базою і позбавляє вал двох обертів навколо осей ОХ і ОУ. Вакансія – обертання заготовки навколо осі ОZ. При обробки перших трьох пазів на установі А реалізується наведена схема базування. Схема закріплення заготовки на установі А передбачає закріплення її хомутиком по поверхні, яка має різь М80х3–6г, лів.. Ця поверхня жорстко з'єднана із ділильною головкою пристрою. У цій частині конструкції пристрою передбачається установити центр, щоб базувати заготовку по отвору В8. Друга частина конструкції пристрою складається із призми для базування заготовки по поверхні $\varnothing 124d8$ та устрою для її кріплення, в якому треба передбачити затискач і пневматичний привід.

На установі Б застосовується інша схема базування, яка виключає вакансію – шосту ступінь вільності заготовки, що залишилася із попередньої схеми її базування на установі А. За схемою базування на установі Б хомутик зостається не розкріпленим і заготовка обертається на кут $180^\circ \pm 5'$ ділильним устроєм. Заготовка базується по координаті OZ (опорна база) і позбавляється шостої ступені вільності.

Досягнуте розташування заготовки при її базуванні на установках А і Б, треба фіксувати силами закріплення P_3 , розташував їх супротив опорних поверхонь призми (див. рис. 2.7).

За джерело сили закріплення P_3 приймається мембранний пневматичний циліндр односторонньої дії із зворотною пружиною (сила P_n).

Розрахунок затискного механізму виконується за умовою рівності силових факторів, які діють на заготовку. Здвиг заготовки уздовж осі призми можливий від дії складової сили різання $P_h = 1026$ Н. Здвигу чинять опір сили тертя f_1 і f_2 , які виникають і місцях контакту заготовки з опорними поверхнями призми і затискним механізмом – затискачем. Сила P_3 розраховується за формулою [13, с. 74]:

$$P_3 = \frac{K \cdot P_h}{(f_1 + f_2) \cdot \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}} = \frac{5,1 \cdot 1026}{(1,16 + 0,16) \cdot \sin^{-1} \frac{90^\circ}{2}} = 11563 \text{ Н},$$

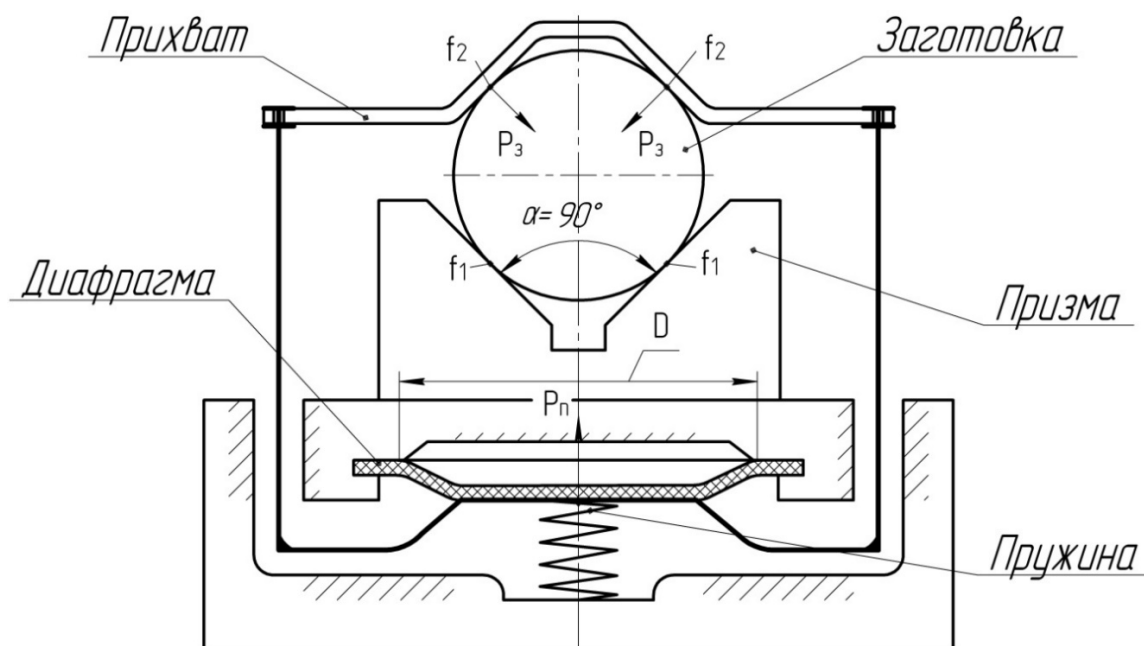


Рисунок 2.7 – Схема до розрахунку сил закріплення заготовки

де $K=K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6=1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,8 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1=5,1$ – коефіцієнт запасу, який передбачений для забезпечення надійного закріплення заготовки [9, с. 85];

$P_h=1026$ Н – складова сила різання при фрезерування;

$f_1 = f_2 = 0,16$ – коефіцієнти тертя, які виникають в місцях контакту заготовки з опорами призми і затискним механізмом – затискачем, якщо всі контактні поверхні оброблені [9, т. 10, с. 85];

$\alpha=90^0$ – кут призми.

Далі визначимо діаметр діафрагми D [9, т. 19, с. 92]:

$$D = \frac{1}{1,7} \sqrt{\frac{P_3 + P_{\Pi}}{0,196 \cdot p_0}} = \frac{1}{1,7} \sqrt{\frac{11563 + 300}{0,196 \cdot 0,4}} \approx 229 \text{ мм},$$

де $p_0 = 0,4$ МПа – тиск стисненого повітря;

$P_{\Pi} = 300$ Н – сила, що виникає під дією зворотної пружини.

Приймаємо $D = 230$ мм.

Визначимо хід штоків L [13, с. 93]:

$$L = \frac{3p_0 \cdot D^4(1 - \mu^2)}{256 \cdot E \cdot S^3} = \frac{3 \cdot 0,4 \cdot 230^4(1 - 0,4^2)}{256 \cdot 6 \cdot 10^2 \cdot 10^3} = 19 \text{ мм},$$

де $\mu=0,4$ – коефіцієнт Пуассона матеріалу діафрагми;

$E=6 \cdot 10^2$ – модуль пружності матеріалу діафрагми;

$$S = \frac{D}{4} \sqrt{\frac{3 \cdot p_0}{\sigma_{max}}} = \frac{230}{4} \sqrt{\frac{3 \cdot 0,4}{40}} = 10 \text{ мм} - \text{товщина діафрагми};$$

$\sigma_{max} = 40$ МПа – найбільше допустиме напруження в гумотканинний основі діафрагми.

Конструкція пристрою наведена на кресленні «Пристрій для фрезерування».

2.9.3 Розрахунок точності елементів пристрою.

Паралельність розташування поверхонь призми відносно площини фундаменту пристрою буде впливати на точність розташування бокових поверхонь шпонкових пазів відносно осей вала Е, Ж. Їх відхилення від паралельності становить не більше 0,03 мм. Наведений параметр, що розраховується, визначиться за формулою:

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

де $T_{\text{пр}}$ – допуск на паралельність розташування поверхонь призми відносно площини фундаменту пристрою;

$T_{\text{д}}=30$ мкм – допуск на відхилення від паралельності бокових поверхонь пазів відносно осей вала Е, Ж;

$K=1,2$ – коефіцієнт корекції;

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

$\varepsilon_3=0$ – похибка закріплення заготовки (сили закріплення не змінюють положення осей Е, Ж вала);

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

$\varepsilon_{\text{пер}}=10$ мкм – похибка перекоосу інструмента;

$\varepsilon_{\text{обр}} = K_2 \cdot \omega = 0,6 \cdot 39 = 23,4$ мкм; $K_2 = 0,6$ – коефіцієнт, який враховує імовірність появи похибки обробки [5, с. 23]; $\omega=39$ мкм (ІТ8) – середня економічна точність обробки [5, 9] – впливає на точність розмірів паза, но не впливає на їх взаємне розташування, приймаємо $\varepsilon_{\text{обр}} = 0$;

$\varepsilon_{\text{поз}} = 10$ мкм – похибка позиціювання шпиндельного вузла [12, 13].

$$T_{\text{пр}} \leq 30 - 1,2 \sqrt{0^2 + 0^2 + 0^2 + 10^2 + 5^2 + 0^2 + 10^2} = 12 \text{ мкм.}$$

Приймаємо $T_{\text{пр}} = 10$ мкм и заносимо його в технічні вимоги креслення пристрою.

2.9.4 Опис конструкції і роботи пристрою.

Конструкція пристрою складається із двох частин. Одна частина пристрою має плиту 2, корпус 14, в якому розташовані шпиндель 16, центр 17, ділильний диск 22, хрестовина 18, хомутик 20 із болтом 36. Для переміщення центра при налагоджуванні та обертанні при переустановленні заготовки, на шпиндель 16 нагвинчена втулка із різью та рукояткою 21 і диск 22 з рукояткою 25. В нижній частині корпусу 14 розташований ромбічний палець 28, який входить во втулку 29 або 30.

Друга частина пристрою складається із верхнього корпусу 4, на якому розташована призма 5, дві напрямні 8, діафрагма 9 і кільце 10. В нижній частині корпусу 3 розташовані коромисло 11, пружина 12, два штока 7, затискач 6.

Робота пристрою починається з накручування різьбового кільця на кінець вала М80х3–6g, лів. та установлення хомутика 20. Потім вал установлюється в центр 17, а виступ хомутика входить в паз хрестовини 18 і призму 5. Далі гвинтами 34 закріплюється виступ хомутика, а на два штока 7 установлюється затискач 6. Із крана керування 1 стисле повітря надходить в порожнину верхнього корпусу, діафрагма 9 із штоками 7 переміщуються вниз і затискач 6 застає заготовку.

Потім виконується обробка трьох шпонкових пазів (дивись установ А на рисунку 2.4). По закінченню обробки рукоятка крана керування 1 переміщується в положення, за яким стисле повітря видаляється із порожнини верхнього корпусу 4, а пружина 32 відводить штоки із затискачем від поверхні вала і заготовка розкріплюється. Обертанням рукоятки 25 і втулки із різьбою 21 виконується розгальмовування шпинделя 16. Рукоятка 38 виводить фіксатор із зачеплення з ділильним диском 22, а обертанням рукоятки 25 вал обертається на кут $180^{\circ} \pm 5'$. Далі дії виконуються у зворотному напрямку, заготовка оброблюється з установою Б.

Послідовність дій верстатника за час роботи із пристроєм нескладна і дозволяє швидко і надійно установлювати або переустановлювати вал для обробки шпонкових пазів на установках А і Б.

2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

2.10.1 Обґрунтування мети операції контролю.

Мета контролю – виконати контроль радіального биття поверхонь $\varnothing 120s6$, $\varnothing 124d8$, $\varnothing 125s6$, $\varnothing 135h7$, $\varnothing 100(-0,20;-0,23)$, $\varnothing 125(-0,20;-0,24)$, $\varnothing 120h7$, $\varnothing 110s6$, $\varnothing 100r6$, $\varnothing 98,6h6$, $\varnothing 92,07 \pm 0,02$ відносно осі центрів Е в межах 0,01–0,02 мм. (дивись креслення 398Н–25–01).

Вихідні дані: N = 100 штук, тип виробництва – дрібносерійний, такт випуску деталей при двозмінній роботі $\tau = 2409$ хв, повний контроль всього об'єму випуску, контроль відбувається на контрольному столі після зняття деталі з верстата.

Аналіз конструкції деталі на технологічність вимірювання.

Базами, якими деталь орієнтується при її установленні в контрольно-вимірювальній пристрій (КВП), будуть два центрових отвори В8 ГОСТ 14034–74. Ці поверхні доступні, вільні. Для установлення вала на центра конструкція КВП повинна мати один із центрів рухомим уздовж осі Е.

Поверхні, які будуть знаходитися в контакті із засобом вимірювання (ЗВ), це діаметри 1, 2, ..., 11 (див. рис. 2.1). Використовування індикаторів контролю по всій вимірювальній площині діаметрів 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 не має будь-якого обмеження.

Для конічній поверхні 1, яка має два шпонкових паза розташованих один від одного під кутом $180^\circ \pm 5'$, вимірювання треба виконувати на краях цієї ступені вала, а саме на $\varnothing 92,07 \pm 0,02$ і $\varnothing 98,6h6$. Довжина ступені дорівнює 98 мм, а довжина шпонкових пазів $90(+0,5; +0,1)$ мм. Таким чином, можна вважати, що наведені конструктивні обмеження вала не вплинуть на процес вимірювання.

Поверхня 11 має два шпонкових паза розташованих один від одного під кутом $180^\circ \pm 5'$. Довжина поверхні 11 дорівнює $134 \pm 0,2$ мм, а довжина шпонкових пазів 125 мм. Таким чином, є частина поверхні шириною 9 мм на якій можна виконувати вимірювання без будь-яких обмежень.

Поверхня 9 має один шпонковий паз довжиною 62 мм, а довжина цієї поверхні дорівнює 63 мм. Ширина паза дорівнює $12(-0,018; -0,061)$ мм. Вимірювання передбачає контакт ЗВ на всій довжині окружності поверхні 9, і тоді з'являється обмеження шириною 12 мм. При вимірюванні переривчастої поверхні треба контакт ЗВ із такою поверхнею зробити не точковим а поверхневим.

Згідно рекомендацій ГОСТ 20736–75 приймаємо нормальний режим контролю. Показники контролю: по об'єму – безперервний, за часом – постійний, за структурою – однократний, перевіряється 100% деталей.

Контрольними точками вимірювання будуть довільні точки поверхонь 1, 2, ..., 11. Вихідні точки A_1, A_2, \dots, A_{12} – точки дотику індикатора із поверхнями які контролюються на початку вимірювання. Кінцеві точки B_1, B_2, \dots, B_{12} – точки на поверхні деталі при її обертанні на кут 360° навколо осі Е (див. рис. 2.8).

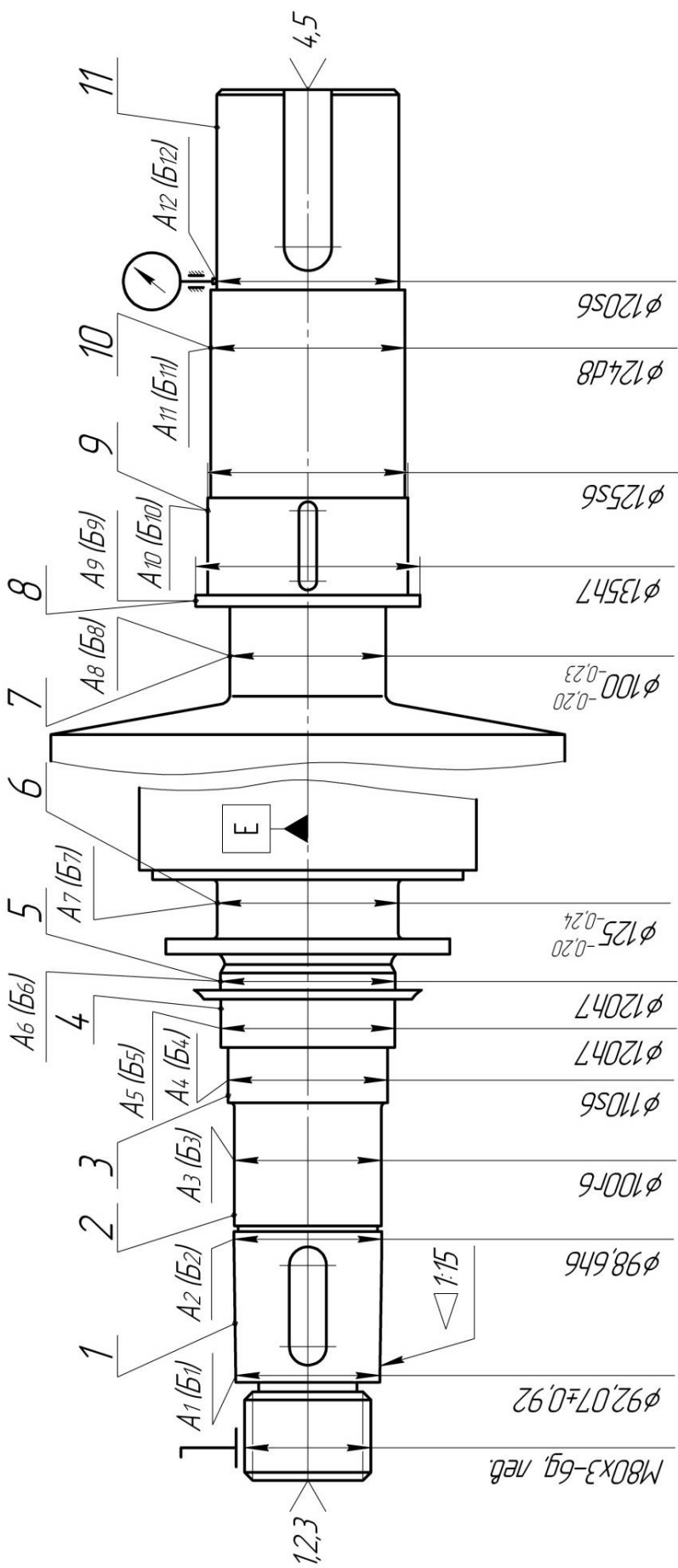


Рисунок 2.8 – Схема послідовного вимірювання радіального біття

За найбільшим діапазоном відхилення стрілки індикатора при одному оберті деталі, можна визначити радіальне биття обої поверхні відносно осі Е.

Базові поверхні – два центрових конічних отворів В8, у яких кут конусної частини отвору дорівнює $60^{\circ} \pm 20'$, а шорсткість $R_a = 1,6$ мкм.

Контрольовані поверхні – квалітети точності 6–8, шорсткість $R_a = 0,2–0,8$ мкм, точність форми (в середньому) $\Delta_f = 0,4 \cdot 0,022 = 0,0088$ мм, допуски круглості і профілю повздовжнього перетину в межах 0,01–0,02 мм.

Деталь відноситься до тілу обертання, за технологічним признакам до класу валів, маса деталі 497 кг, матеріал – сталь 45 ГОСТ 1050–88, твердість НВ 197–241, густина матеріалу $\gamma = 7,905 \cdot 10^3$ кгс/м³.

2.10.2 Вибір і обґрунтування методів вимірювання.

Деталь установлюється на два центра. Перший центр розташований в поворотній частині пристрою (див. креслення ТМ12345678–08.00.00 СК). Обертання деталі передається через хомутик і гайку, яка нагвинчена на різь М80х3–6g, ліва. Центр не має можливості переміщуватися уздовж осі Е, що не дозволяє переустановлювати деталі для вимірювання. Другий центр – рухомий, розташований в корпусі, який як і корпус першого центра, установлений на площину плити КВП. Переміщення центра уздовж осі Е дозволяє переустановлювати заготовки для вимірювання. Площина плити повинна бути паралельною осі Е і мати не більше 1–2 мкм на 200 мм довжини. Точність їх взаємного розташування досягається шліфуванням з однієї установки двох центрів і площини плити. Площина плити є базою, на яку установлюється магнітний корпус із стійкою і мікронним індикатором. Вимірювання відбувається послідовним переустановленням магнітного корпусу із стійкою та індикатором в точки A_1, A_2, \dots, A_{12} . Деталь обертається рукояткою поворотного пристрою на кут 360° , візуально фіксується найбільший діапазон переміщення стрілки по шкалі індикатора. Порівнюючи отримані значення індикатора із заданими значеннями радіального биття на кресленні деталі, робиться висновок о відповідності вала до виміряного показника.

Метод вимірювання – контактний, контроль – прямий. Умови в яких відбувається вимірювання: температура в зоні вимірювання складає 20 ± 5 °С ГОСТ 12.01.005–76; відносна вологість повітря $\varphi_n = 80\%$; тиск $P_{ат} = 86–106$ КПа; швидкість руху повітря $V_B \leq 0,5$ м/с; освітленість робочого місця $E_{\phi} = 1000$ люкс.

2.10.3 Вибір и обґрунтування засобів вимірювання.

В КВП застосований контактний метод вимірювання, контрольована поверхня сприймає вимірювальне зусилля без деформації і змінання. Тому можна прийняти змінні вимірювальні вставки з радіусом сфери $r = 1,5$ мм (див. рис. 2.9) [14].

Вимірювальна вставка (див. рис. 2.9, а) застосовується для вимірювання поверхонь 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11. Вставка (див. рис. 2.9, б) застосовується для вимірювання поверхні 5. Вставка (див. рис. 2.9, в) застосовується для вимірювання поверхні 9. Похибка вимірювального зусилля $\Delta_{зус}$ (для двох вставок) визначається за формулою [14]:

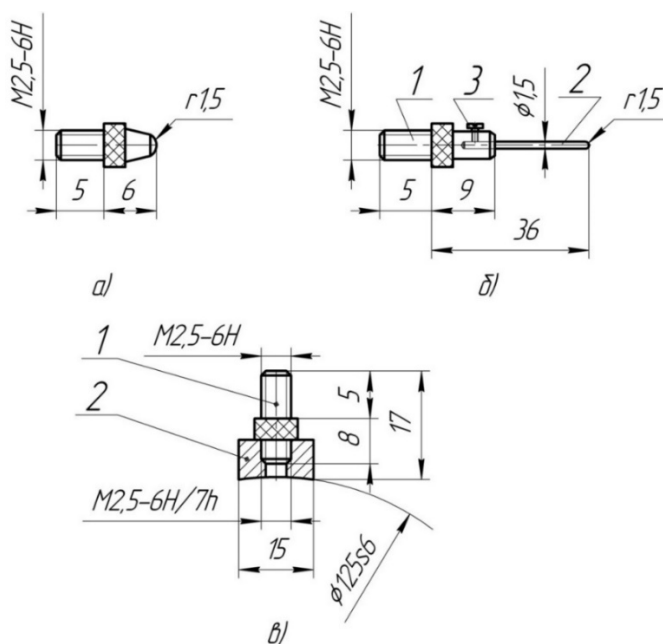


Рисунок 2.9 – Змінні вимірювальні вставки для індикатора із стрілкою:

- а) стандартна вимірювальна вставка (стальна) №35.10001 (TN10);
- б) вимірювальна вставка 1 (стальна) із змінними штифтами 2 №35.10201 (TN12);
- в) вимірювальна вставка 1 із спеціальним наконечником 2

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{зус}^2}{r}} = 0,43 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,7^2}{1,5}} \cong 0,6 \text{ мкм},$$

де $K = 1,0$ – коефіцієнт, який залежить від матеріалу вимірювального наконечника (сталені вставки);

$P_{зус} = 1,7 \text{ Н}$ – найбільше значення вимірювального зусилля;

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

Вибираємо засіб вимірювання. Розрахунок виконаємо для технічної вимоги по допуску на радіальне биття $0,01 \text{ мм}$.

Допустима сумарна $|T_{вим}|$ похибка вимірювання КВП визначається за формулою

$$|T_{вим}| = K \cdot IT = (0,2 \dots 0,35) \cdot 10 = 2 \dots 3,5 \text{ мкм}.$$

Згідно рекомендацій ГОСТ 8051–81 приймаємо $|T_{вим}| = 3,5 \text{ мкм}$.

Визначимо допустиму $|\Delta_{ін}|$ похибку ЗВ:

$$|\Delta_{ін}| = 0,7|T_{вим}| = 0,7 \cdot 3,5 = 2,45 \text{ мкм}.$$

Ціна поділки залежить від величини допустимої похибки ЗВ. Приймаємо $C = 0,001 \text{ мм}$. Відстань між поділками шкали $2,0 \text{ мм}$. Межа вимірювання за шкалою (А) повинна перевищувати допуск IT , щоб зняття показань не було утруднено. Приймаємо $A = 4 \cdot IT = 4 \cdot 10 = 40 \text{ мкм} = 0,04 \text{ мм}$. Діапазон індикації визначається умовами експлуатації. Приймаємо $B = 1 \text{ мм}$. Вимірювальне зусилля $P_{зус} = 1,7 \text{ Н}$, похибка вимірювального зусилля $\Delta P_{зус} = 0,5 \text{ Н}$.

Показник надійності ЗВ є напрацювання $t(P)$ до першої відмови при імовірності безвідмовної роботи $|P| = 0,85$:

$$t(P) = 100 \cdot 12 = 1200 \text{ циклів}.$$

Витрати на придбання ЗВ приймаємо $\Pi = 100 \text{ грн}$. Приймемо остаточно ЗВ: стрілочний індикатор ТЕЗА, модель (номінальний діаметр циферблата) $\varnothing 80$, ціна поділки шкали $0,001 \text{ мм}$; №14.10801 із цифровою шкалою в двох напрямках, виготовлення індикатора із стопорним механізмом для циферблата і вбудованим механізмом піднімання вимірювального наконечника [14] (див. рис. 2.10).

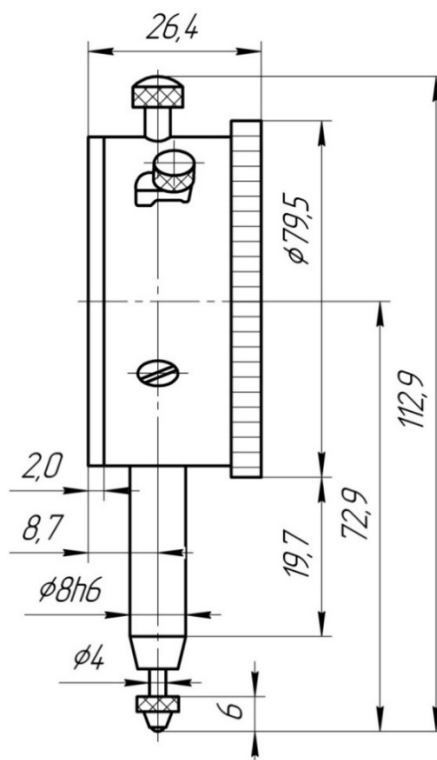


Рисунок 2.10 – Прецизійний стрілочний мікроіндикатор ТЕЗА (№14.10801)

2.10.4 Ескізне проектування КВП.

Фактична сумарна ε_0 похибка КВП розраховується за формулою:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon + \Delta_{\text{п}} + \Delta_{\text{е}} + \Delta_{\text{ін}} + \Delta_{\text{зус}} + \Delta_{\text{t}},$$

де $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} = 1$ мкм – похибка розташування контрольованої деталі в пристрої; $\varepsilon_6 = 0$ – похибка базування; $\varepsilon_3 = 0$ – похибка закріплення; $\varepsilon_{\text{пр}} = 1$ мкм – похибка виготовлення елементів пристрою (паралельність осі Е відносно поверхні плити);

$\Delta_{\text{п}} = 0$ – похибка передавального механізму (в КВП немає);

$\Delta_{\text{е}} = 0$ – похибка виготовлення еталона (в КВП немає);

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

$\Delta_{\text{зус}} = 0,6$ мкм – похибка вимірювального зусилля.

Δ_{t} – похибка від коливання температури при вимірюванні.

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{t}} &= l \cdot [\alpha_1(t_1 - 20^0) - \alpha_2(t_2 - 20^0)] = \\ &= 135 \cdot [12,0 \cdot 10^{-6}(25^0 - 20^0) - 11,5 \cdot 10^{-6}(25^0 - 20^0)] \approx 0,4 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

де $l = 135$ мм – найбільший розмір вимірювальної поверхні;

$\alpha_1 = 12,0 \cdot 10^{-6}$ і $\alpha_2 = 11,5 \cdot 10^{-6}$ – коефіцієнти лінійного розширення відповідно матеріалу деталі (сталь 45) і вимірювального наконечника (стальна вставка);

$t_1 = t_2 = 25^\circ\text{C}$ – температура деталі і ЗВ.

$$\varepsilon_0 = 1 + 0 + 0 + 0,4 + 0,6 = 3 \text{ мкм.}$$

Якщо $\varepsilon_0 = 3 \text{ мкм} < |T_{\text{вим}}| = 3,5 \text{ мкм}$, то контроль виконується.

Остаточне проектування КВП виконаємо на кресленні.

2.10.5 Опис конструкції і роботи КВП.

Конструкція контрольного пристрою складається із плити 3, поворотного механізму 1, в який входить нерухомий упорний центр 19, хомутик 17, стопорний болт 18, розташованого на одному кінці плити 3. На другому кінці плити 3 розташовується задня бабка, яка складається із корпусу 6, пінолі 5, рухомого центру 4. Переміщення рухомого центра 4 виконується шпинделем 8 при обертанні маховика 10. Для вимірювання радіального биття шийок вала застосовується магнітна стійка 2, на якій розташований затискач 12, валик 13, фіксатор 14. Одночасне закріплення затискача 12 і валика 13 виконується рукояткою 15, загвинченою на шпильці 16.

На різьбовий кінець вала М80х3–6g, ліва. нагвинчується різьбове кільце 20 і надягається хомутик 17. Далі вал установлюється центровими отворами на центри 4 і 19 та підтискується рухомим центром 4. На плиту 3 установлюється магнітна стійка 2, а ніжка мікроіндикатора 28 установлюється з натягом на вимірювальну поверхню [на кресленні це поверхня $\varnothing 125(-0,2;-0,24)$]. Обертанням рукоятки поворотного механізму 1 вал обертається на кут $360^\circ(+10^\circ;+5^\circ)$ і визначаються показання мікроіндикатора 28. За наведеними діями відбувається вимірювання наступних шийок вала (всього одинадцять вимірювань).

За результатами вимірювань робиться висновок о придатності деталі. Потім стійка 2 знімається з плити 3, обертанням маховика 10 рухомий центр 4 виводиться із центрального отвору, а деталь, яка підтримується кран-балкою, знімається із пристрою.

Пристрій треба зберігати в спеціальному футлярі, запобігати його від ударів, вібрацій, магнітних силових полів, вологи, пилу.

2.11 Висновок

1. Складений раціональний маршрут технологічного процесу виготовлення вала із удосконаленням окремих операцій.

2. За результатом техніко-економічного обґрунтування запропонованих способів виготовлення вихідної заготовки вибрана поковка на гідравлічному пресі.

3. Із використанням розробленої програми «prp. ver. 7» на ЕОМ розраховані припуски і операційні розміри заготовки для обробки діаметрального розміру 120h7.

4. Для операції 020 «Токарно-гвинторізна» та операції 030 «Вертикально-фрезерна» визначені оптимальні схеми базування і закріплення заготовок, запропоновані моделі верстатів, технологічне оснащення, різальний і вимірювальний інструменти.

5. Для наведених операцій розрахунково-аналітичним методом розраховані режими різання і технічні норми часу.

6. Для операції 030 «Вертикально-фрезерна» розроблений спеціальний верстатний пристрій. Пристрій дозволяє швидко і точно переустановлювати заготовку на окремі технологічні переходи для обробки шпонкових пазів вала без зняття його з верстата.

7. Для вимірювання радіального биття (в межах 0,01–0,02 мм) шийок вала розроблений спеціальний контрольно-вимірювальний пристрій.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРИ ОЗДОБЛЮВАЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ПІДШИПНИКОВИХ ШИЙОК ВАЛА

3.1 Розроблення схеми обробки циліндричних поверхонь шийок валів обмежених буртами

За даними работ [16, 17, 18, 20] усунення вихідної похибки форми шийки вала залежить від різальної спроможності абразивних брусків і жорсткості технологічної системи (ТС). Авторами работи [21, 22, 23] виділені дві основні схеми обробки коливальними брусками, які знижують вихідну круглість і радіальне биття шийки вала у виробничих умовах (див. рис. 3.1 і 3.2).

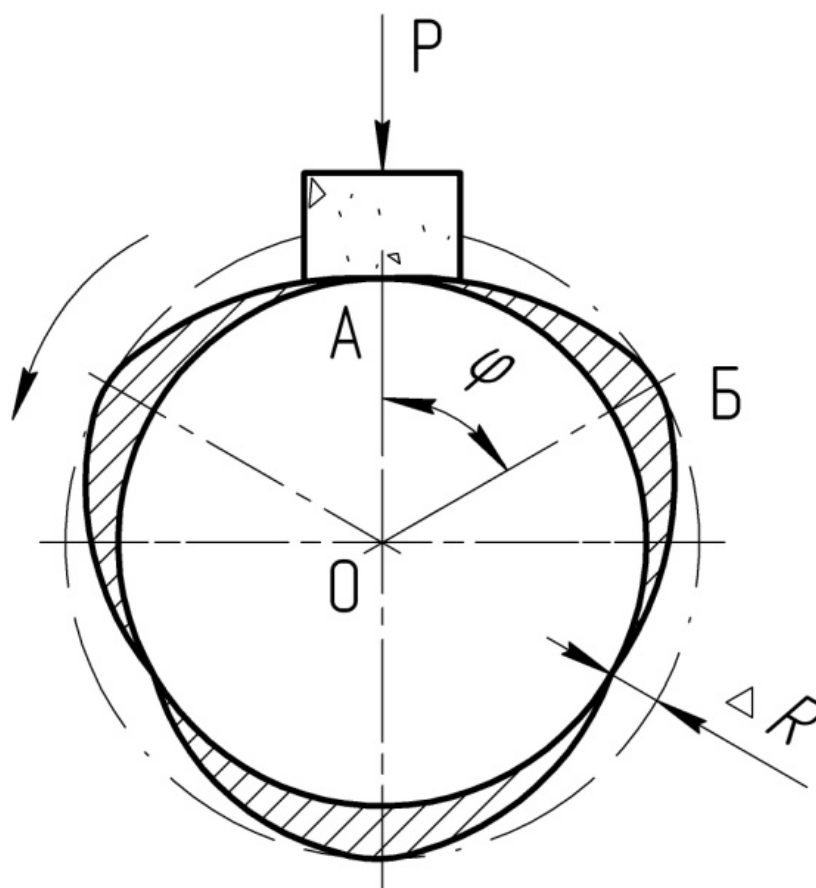


Рисунок 3.1 – Схема обробки шийки із одностороннім притисненням абразивного бруска

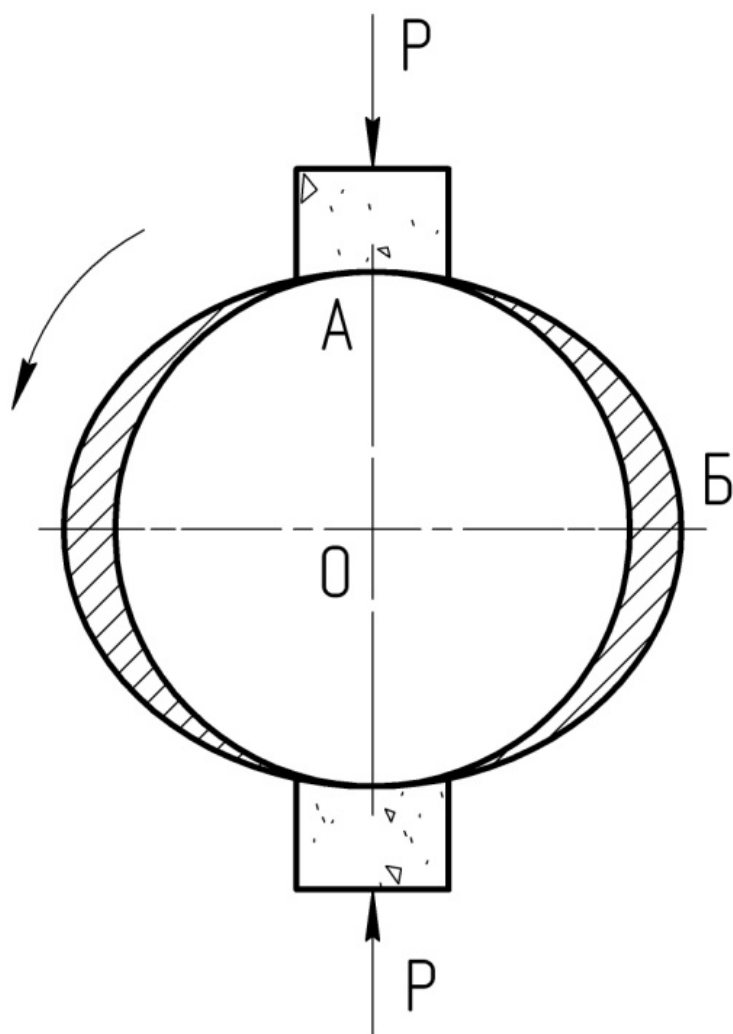


Рисунок 3.2 – Схема обробки шийки вала із двостороннім притисненням абразивних брусків

За схемою, наведеною на рисунку 3.1, робота виконується абразивним бруском, який притиснутий до оброблювальної поверхні безпосередньо пневматичним або гідравлічним циліндром жорстко закріпленого на верстаті. Цей варіант схеми застосовується для зменшення огранювання, хвилястості і круглості поверхні (овальності до 10–15 мкм, биття до 10 мкм). В деяких конструкціях зусилля на брусок відбувається від пружного елемента (пружини), що також призводить до зниження жорсткості ТС. У цьому випадку шорсткість, огранювання, хвилястість знижуються до 1,5–3,0 мкм, що широко застосовується при обробленні шийок шпинделів, валів гідравлічних насосів та компресорів.

За другою схемою (див. рис. 3.2) абразивні бруски стискаються з двох сторін до оброблювальної поверхні. В верстатах для суперфінішування бруски з двох сторін стискаються під дією механізму радіальної подачі розміщеного в інструментальній головки і довільно встановлюються уздовж осі оброблювальної шийки вала.

Наведені схеми широко застосовуються у автомобільній промисловості при суперфінішуванні шийок колінчастих валів. Інтенсивність усунення овальності за другою схемою вище у порівнянні із першою, але радіальне биття шийки вала відносно осі обертання не зменшується [21, 23].

Проведені дослідження [11, 20, 26] показали, що усунення огранювання і хвилястості (1,5–3 мкм) відбувається лише за рахунок розмірів бруска. Якщо робоча поверхня бруска перевищує довжину хвилі у поперечному перетині оброблювальної поверхні, то усунення таких похибок має однакову інтенсивність для всіх схем суперфінішування і не залежить від жорсткості ТС.

Розглянемо схеми (див. рис. 3.1 і 3.2) обробки коливальними брусками шийок валів на центровому верстаті і не беручі до уваги похибки центрів верстата і центрових отворів оброблюваних валів. Вплив допуску круглості центрів верстата і центрових отворів на виправлення вихідної похибки оброблювальних деталей було визначено в роботах [22, 23, 24]. Установлено, що основною причиною зменшення круглості циліндричних поверхонь валів при обробки абразивними брусками є змінювання питомого тиску брусків на оброблювальну поверхню, яке спричинене самою круглістю. Згідно рисунку 3.1 при повороті вала на кут φ , в момент контакту бруска з поверхнею, яка виступає за межі вписаного кола, відбувається питоме переміщення елементів ТС і збільшується зусилля притиснення бруска, що спричинене коливанням приску.

Не беручі до уваги видалення металу, як величиною другого порядку, прирощення зусилля можна записати

$$\Delta P = \gamma \cdot \Delta R, \quad (3.1)$$

де ΔP – прирощення зусилля притиснення бруска, кг;

γ – жорсткість ТС, кг/мкм;

ΔR – некруглість поверхні вала, мкм.

Збільшення питомого зусилля брусків Δp визначається за формулою

$$\Delta p = \frac{\gamma \cdot \Delta R}{n_{\zeta} \cdot F_{\zeta}}, \quad (3.2)$$

де Δp – збільшення питомого тиску брусків, кг/см²;

F_{ζ} – площа робочої поверхні бруска, см²;

n_{ζ} – кількість брусків.

Із збільшенням питомого тиску брусків на величину Δp видалення металу Q із поверхні, що знаходиться за межами кола, описаного мінімальним радіусом-вектором, збільшується із збільшенням радіуса-вектору. Зменшення допусків круглості і биття вала за час $d\tau$ дорівнює різниці видалення металу в напрямках радіусів ОБ і ОА

$$d(\Delta R) = -(dQ_B - dQ_A), \quad (3.3)$$

де $d(\Delta R)$ – зменшення допуску круглості, мкм;

dQ_B и dQ_A – видалення металу відповідно в напрямках ОБ і ОА, мкм.

Запишемо диференційне рівняння видалення металу в радіальному напрямку

$$dQ = Q_V \cdot d\tau, \quad (3.4)$$

де Q_V – швидкість видалення металу, мкм/с;

τ – час видалення, с;

Q – видалення металу на сторону, мкм.

Підставимо формулу (3.4) в рівняння (3.3), отримаємо:

$$d(\Delta R) = -(Q_{VB} - Q_{VA})d\tau, \quad (3.5)$$

де Q_{VB} і Q_{VA} – швидкості видалення металу в напрямках ОБ і ОА, мкм/с.

В роботах [11, 16, 17, 21] експериментальним шляхом отримані окремі залежності швидкості видалення металу від питомого тиску брусків і часу оброблення, відповідно $Q_V = f_1(p)$; $Q_{V_0} = f_0(\tau)$.

Аналіз експериментальних залежностей дозволив зробити висновок, що швидкість видалення металу для алмазних та абразивних брусків в робочому діапазоні питомих тисків пов'язана з питомим тиском лінійною залежністю. Таким чином, швидкості видалення металу в напрямках ОА і ОБ можна записати як:

$$Q_{VB} = \frac{p + \Delta p}{p_0} \cdot f_0(\tau); \quad (3.6)$$

$$Q_{VA} = \frac{p}{p_0} \cdot f_0(\tau), \quad (3.7)$$

де p_0 – питомий тиск брусків, за яким отримана залежність $Q_{V_0} = f_0(\tau)$;

p – питомий тиск брусків, за яким відбувається обробка.

Підставимо рівняння (3.6) і (3.7) у рівняння (3.5), отримаємо:

$$d(\Delta R) = -\frac{\Delta p}{p_0} \cdot f_0(\tau) d\tau. \quad (3.8)$$

При оздоблювальній обробки циліндричних поверхонь деталей алмазними або абразивними брусками емпірична залежність видалення металу від часу має вид:

$$Q = K \cdot \tau^a, \quad (3.9)$$

де K і a – коефіцієнти, які отримані експериментальним шляхом.

Швидкість видалення металу знаходимо диференціюванням залежності (3.9):

$$Q = K \cdot a \cdot \tau^{a-1}. \quad (3.10)$$

Підставим в рівняння (3.8) формули (3.2) і (3.10) і отримаємо:

$$\frac{d(\Delta R)}{\Delta R} = -\frac{\gamma \cdot K \cdot a}{n_6 \cdot F_6 \cdot p_0} \cdot \tau^{a-1} \cdot d\tau. \quad (3.11)$$

Беремо інтеграл формули (3.11) і отримаємо:

$$\tau = \sqrt[a]{\frac{n_6 \cdot F_6 \cdot p_0}{\gamma \cdot K} \cdot \ln \frac{\Delta R_H}{\Delta R_K}}, \quad (3.12)$$

де ΔR_H – вихідна (початкова) круглість поверхні шийки вала, мкм;

ΔR_K – потрібна (кінцева) круглість поверхні шийки вала, мкм.

Таким чином, якщо відомі жорсткість ТС, залежності видалення або швидкості видалення від часу, а також інші вихідні дані, то за формулою (3.12) можна визначити час, якій потрібен для зменшення вихідної круглості до потрібної величини.

При обробки валів коливальними брусками (див. рис. 3.2) жорсткість ТС можна прийняти як жорсткість інструментальної головки для суперфінішування з

брусками, а саме, $\gamma = \gamma_{\text{сг}}$. Жорсткість ТС при обробки із пружним притисненням брусків до оброблювальної поверхні, можна без суттєвої похибки вважати рівній жорсткості пружини, яка використовується для притиснення брусків, а саме $\gamma = \gamma_{\text{пр}}$.

3.2 Вибір моделі верстата для суперфінішування шийок валів

Аналіз кінематичних схем верстатів для суперфінішування круглих деталей в центрах показав, що всі вони поділяються на верстати з однією та кількома інструментальними головками [11, 24]. Верстати із однією інструментальною головкою призначені для послідовної обробки конічних і циліндричних поверхонь круглих деталей. До цієї групи верстатів відносяться верстати моделей ЗД871Б, ЗД871БК і 3872Б [24]. Верстати із кількома інструментальними є спеціалізованими верстатами і передбачені для одночасної обробки кількох шийок вала (моделі ЗД870Б, ЗД871). На цих верстатах можна установлювати від двох до чотирьох інструментальних головок, які одночасно оброблюють від двох до чотирьох шийок вала.

Оброблювана заготовка на цих верстатах установлюється в центрах або патроні і приводиться до обертання. Різання відбувається дрібнозернистим абразивним або алмазним бруском. Брусок притискається до оброблювальної поверхні і виконує коливальні та зворотно-поступальні рухи уздовж осі обертання заготовки. У разі обробки конічних та коротких циліндричних поверхонь, а також коротких поверхонь обмежених буртами, інструментальна головка з абразивним бруском виконує тільки коливальні рухи.

В кінематичну схему сучасних верстатів для суперфінішування заготовок в центрах закладений ступінчатий процес, якій складається із двох режимів обробки: чорнового і чистового.

Цикл роботи верстатів півавтоматичний. Змінювання чорнового режиму обробки на чистовий та закінчення циклу роботи верстата відбувається автоматично. Час оброблення на чорновому і чистовому режимах установлюється за величиною видаленого припуску і контролюється спеціальним приладом – реле часу.

За конструкцією верстатів для суперфінішування заготовок в центрах виконані за однією принциповою схемою. Основні вузли верстатів уніфіковані. Оригінальними у кожному верстаті є тільки ті вузли, які визначаються розмірами оброблювальних заготовок.

Таким чином, для обробки підшипникових шийок вала (див. додаток А) можна запропонувати верстат моделі 3872Б [24].

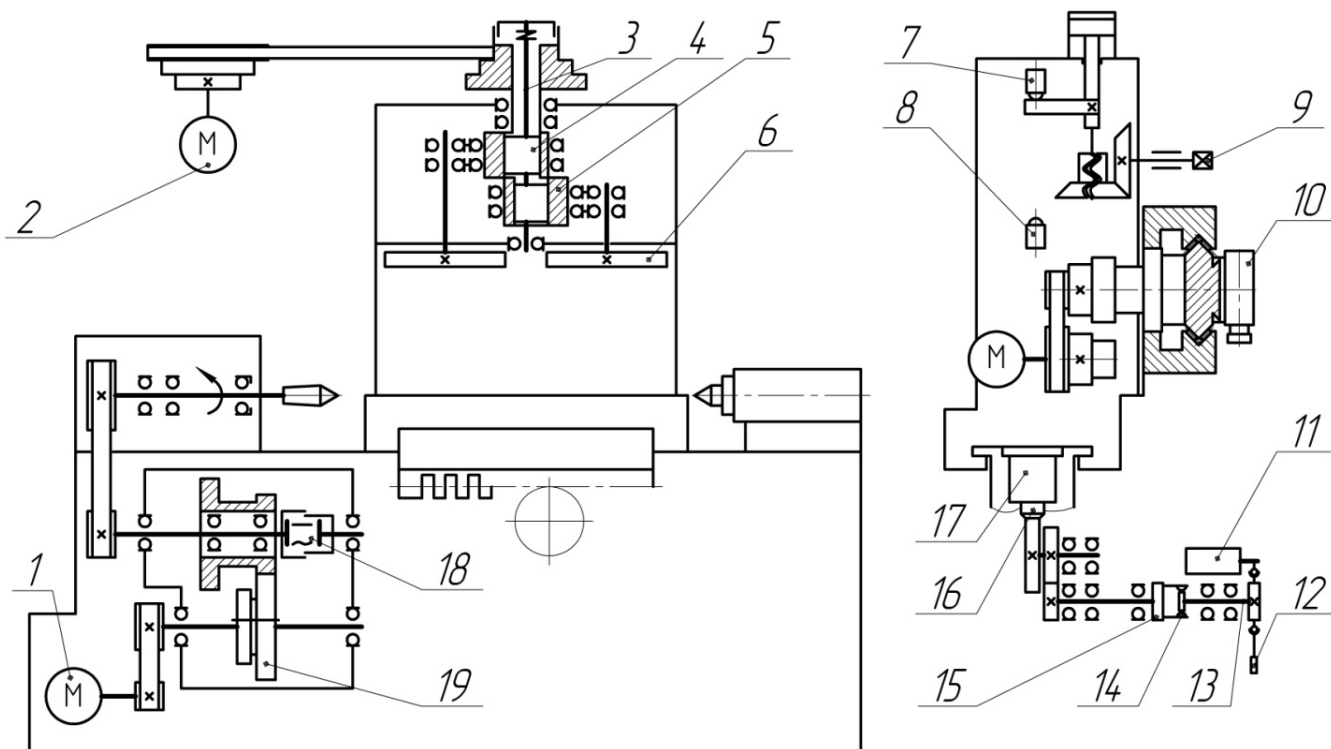


Рисунок 3.3 – Кінематична схема верстата моделі 3872Б

Розглянемо кінематичну схему верстата (див. рис. 3.3). Обертання шпинделя бабки, де встановлюється заготовка, виконується від тиристорного приводу I типу ЭТО2-16 ($N=1,8$ кВт, $n=1500-75$ хв⁻¹), коробки швидкості і двох клинопасових передач. Коробка швидкості має два діапазони швидкостей шпинделя: 25-500 і 50-1000 хв⁻¹. Перемикання швидкості виконується рухомих блоком 19 зубчастих коліс. Зупинка обертання шпинделя відбувається відключенням електромагнітної муфти 18. Електродвигун у цьому випадку не вимикається.

Механізм коливання (осциляції) працює від електродвигуна 2 ($N=0,75$ кВт, $n=1370$ хв⁻¹). Через клинопасову передачу оберти передаються на вал 3 з двома ексцентриками 4, ексцентриситети яких рівні і діаметрально протилежні. При обертання вала ексцентрики через важелі передають коливальні рухи в протилежних напрямках двом кареткам 6. На одній каретці встановлена інструментальна головка 10, на другій – противага. За один оберт вала абразивний брусок, який закріплений на штоку інструментальної головки, здійснює один подвійний хід. Шків клинопасової передачі забезпечують три варіанта коливань 1000, 1500 і 1900 подв. хід/хв бруска. Величина ходу бруска встановлюється в межах від 0,5 до 5 мм поворотом ексцентрикових втулок 5 на ексцентриках 4.

Повздожнє переміщення інструментальної головки виконується гідравлічним циліндром 17. Від рейкової передачі 16 і двох шестерень відбувається поворот диска 15 із розташованих на ньому упорів 14. Упори діють на вал 13 і через систему важелів повертають валик перемикачів гідравлічної панелі 11, що призводить до реверсу інструментальної головки.

Ручне перемикачів гідравлічної панелі відбувається рукояткою 12. Хід інструментальної головки обмежується рухомими упорами 14.

Установка інструментальної головки по висоті на розмір оброблювальної заготовки виконується рукояткою 9. При обертання зубчастих конічних коліс траверса переміщується по гвинту, закріпленому на штоку гідравлічного циліндра піднімання траверси. Верхнє і нижнє положення траверси фіксується кінцевими мікроперемикачами 7 і 8.

Аналіз кінематичної схеми запропонованого верстата (див. рис. 3.3) показав, що вона придатна для встановлення на нього модернізованої головки «плаваючого типу», яка б вільно встановлювалася на оброблювальній поверхні шийки вала. Також, гідравлічна система верстата дозволяє додатково вбудувати в гідравлічну схему інструментальної головки спеціальний механізм для автоматичного регулювання тиску абразивного бруска на оброблювальну поверхню шийки вала в процесі її обробки.

Таким чином, основним напрямом модернізації є розроблення нової конструкції інструментальної головки призначеної для підвищення точності циліндричної форми підшипникової поверхні в поперечному перетині шийки вала.

3.3 Проектування інструментальної головки для суперфінішування

Інструментальна головка [27] для суперфінішування складається із гідравлічного циліндра 10, в нутрі якого розташовані поршень 6, шток 7 із закріпленим клином 12 (див. рис. 3.4).

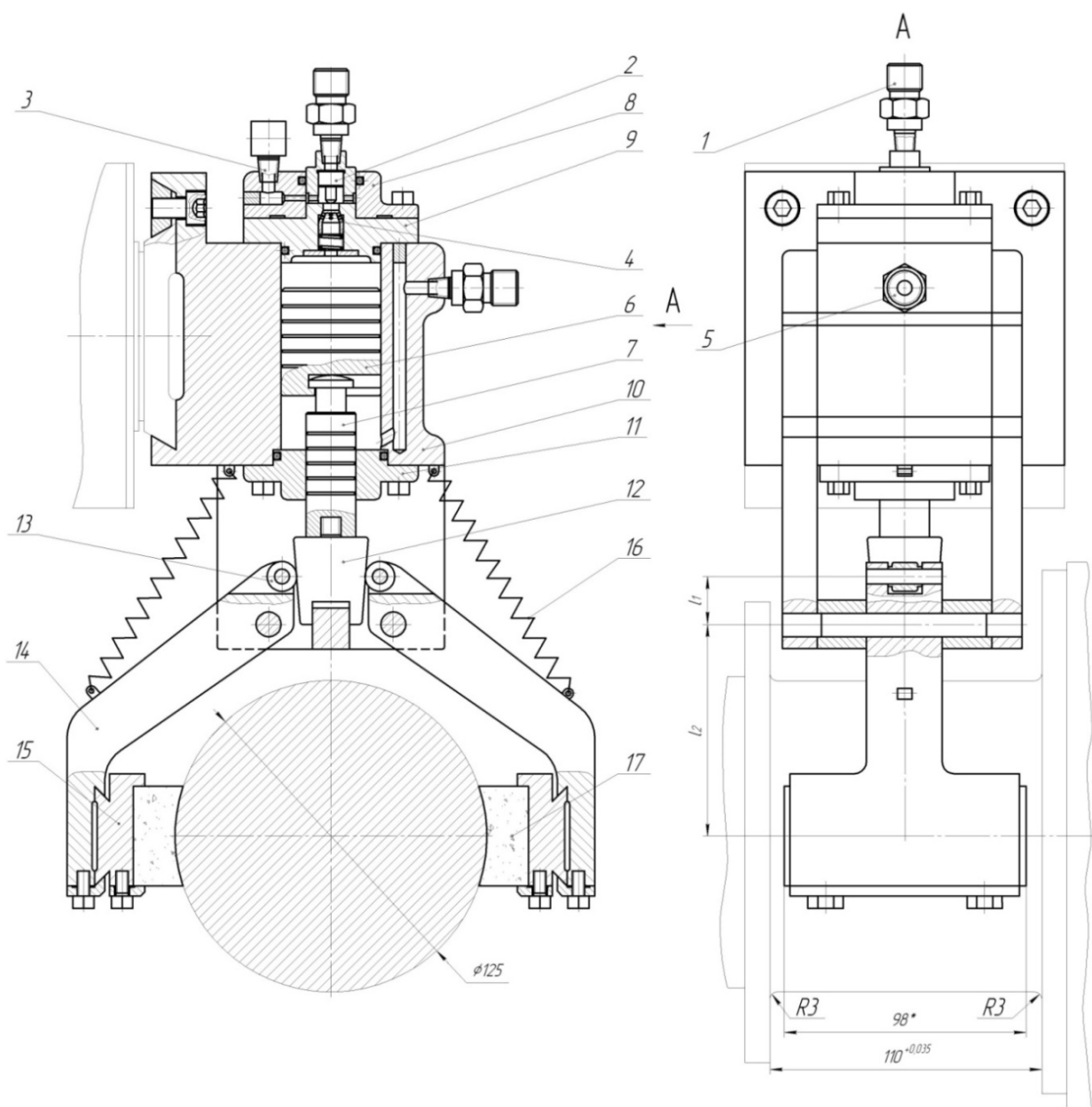


Рисунок 3.4 – Інструментальна головка для суперфінішування шийок вала

Шток 7 і поршень 6 зроблені окремо, що забезпечує вільне переміщення штока 7 і не потребує строгої співвісності між циліндром 10 і кришкою 11. Головка жорстко з'єднана з кареткою механізму повздовжньої подачі. В порожнину циліндра, де знаходиться шток, через штуцер 5 постійно поступає мастило, яке створює зусилля протитиску і утримає конус в положенні, при якому абразивні бруски 17 знаходяться в розтиснутому стані (бруски відведені від поверхні заготовки). Коли мастило поступає у отвір 3, золотник 2 підіймається у верхнє положення, відкривається (опускається) зворотній клапан 4 і через отвори, які розташовані в конусі, мастило поступає на торець поршня 6, переміщує конус 12 вниз і притискує бруски 17 до поверхні заготовки. Тиск в порожнині, де немає штока, постійний і тому положення клину не змінюється, а абразивні бруски притиснуті до поверхні заготовки і виконують рівномірне видалення припуску.

При обробки шийки вала, що має похибку форми (овальність, огранювання або биття), бруски виступами нерівності будуть відтискуватися від поверхні заготовки. Ролики 13 важелів 14 будуть прямувати перемістити конус вверху. Але зворотний клапан 4 зачиняється і тиск мастила на поршень 6, клин 12 і абразивні бруски 17 збільшується. З підвищенням тиску збільшується видалення металу і відбувається виправлення геометричної форми циліндричної поверхні.

Щоб розтиснути важелі 14 з брусками 17, треба підняти клин 12 вверху, а саме, перекрити отвір штуцера 3, а мастило подавати в отвір штуцера 1. Золотник 2 опуститься вниз, натисне на зворотний клапан 4 і відчинить його. Цими діями забезпечиться зливання мастила із порожнини де знаходиться шток в отвір штуцера 3. Поршень 6 під дією протитиску підніметься вверху і одночасно перемістить шток 7 із клином 12.

Для обробки інструментальною головкою діаметральних поверхонь підшипникових шийок 125(-0,20;-0,24) мм і 100(-0,20;-0,23) мм застосовується верстат моделі 3872Б [24]. Каретка верстата має приєднувальну поверхню у вигляді ластівчаного хвоста. Наведена конструкція верстата дозволяє виконати швидке установлення і налагодження на обробку заготовки розробленої інструментальної

головки. Швидкість повздовжньої подачі каретки верстата має діапазон 0,008-0,05 м/с і регулюється без ступінчасто.

Точність шпинделя верстата визначає точність форми і розмір поверхні оброблювальної заготовки. Тому, шпиндель, який розташований в передній бабки верстата, установлений на високій точності підшипники кочення [24]. В передній опорі шпинделя застосований двох рядний роликовий підшипник. Зазор в підшипнику можна регулювати без зняття його з шпинделя. В задній опорі шпинделя застосований подвійний комплект радіально-упорних шарикових підшипників. Така конструкція передньої бабки верстата забезпечує радіальне биття заготовок не більше 0,5–0,8 мкм. На передньому кінці шпинделя закріплюється планшайба із поводком, який передає крутний момент заготовки.

Обертання шпинделя передньої бабки виробу виконується від тиристорного електроприводу через коробку швидкості і двох клинопасових передач, що виключає передачу вібрацій приводу на заготовку. Коробка швидкості забезпечує два діапазону швидкості шпинделю: 25–500 хв⁻¹ і 50–1000 хв⁻¹. Частота обертання заготовки регулюється без ступінчасто. Наведена характеристика верстата для суперфінішування моделі 3872Б дозволяє використовувати його на всіх оздоблювальних операціях обробки шийок вала.

Виконаємо розрахунок інструментальної головки для суперфінішування [27].

1. Визначимо силу Q (Н) на поршні

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p_o \cdot \eta_o = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 0,4 \cdot 0,9 \cong 452,2 \text{ Н},$$

де $D = 40$ мм – діаметр поршня;

$p_o = 0,4$ МПа – тиск в системі інструментальної головки;

$\eta_o = 0,93-0,9$ – ККД в механізмі «циліндр-поршень», приймаємо $\eta_o = 0,9$.

2. Визначимо силу P_1 якою уклін клину діє на ролик

$$P_1 = Q \cdot i_c = 452,2 \cdot 7 = 3165,4 \text{ Н},$$

де $i_c = 7$ – передавальне відношення сил для схеми механізму «двох плунжерний з роликами на нахилених площинах» [42].

Приймаємо кут нахилу клину $\alpha=5^{\circ}20'$ з урахуванням самогальмування [42].

3. Визначаємо силу P_2 якою абразивний брусок діє на поверхню деталі. За даними креслення інструментальної головки приймаємо величини пліч важелів $l_1=20$ мм, $l_2=85$ мм.

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot l_1}{l_2 \cdot \eta} = \frac{3165,4 \cdot 20}{85 \cdot 0,9} \cong 827,6 \text{ Н},$$

де $\eta=0,85 - 0,95$ – ККД механізму «важіль-вісь», приймаємо $\eta=0,9$.

4. Визначаємо питомий тиск абразивного бруска на поверхню деталі

$$p_6 = \frac{P_2}{F_6} = \frac{827,6}{0,00392} = 0,21 \text{ МПа},$$

де $F_6 = \alpha \cdot b = 0,04 \cdot 0,098 = 0,00392 \text{ м}^2$ – площа бруска;

$\alpha = 0,04$ мм – ширина бруска; $b = 0,098$ мм – довжина бруска.

5. Визначаємо зусилля притиснення брусків $P_{\text{пр}}$ до поверхні деталі

$$P_{\text{пр}} = p_{6\text{р}} \cdot F_6 \cdot K \cdot Z = 0,21 \cdot 0,00392 \cdot 2 \cdot 1 \cong 1647 \text{ Н},$$

де $K = 2$ – кількість брусків в інструментальній головці;

$Z = 1$ – кількість інструментальних головок.

6. Визначаємо силу різання P_p при суперфінішуванні

$$P_p = P_{\text{пр}} \cdot f = 1647 \cdot 0,35 = 576,5 \text{ Н},$$

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

7. Визначаємо обертальний момент M при обробки вала в центрах

$$M = \frac{P_p \cdot D}{2} = \frac{576,5 \cdot 0,125}{2} \approx 36 \text{ Нм},$$

де $D = 0,125$ м – найбільший діаметр оброблювальної шийки вала.

8. Визначаємо потужність N_e різання при суперфінішуванні

$$N_e = \frac{M \cdot n}{9750} = \frac{36 \cdot 75}{9750} \cong 0,28 \text{ кВт},$$

де $n = 75$ об/хв – частота обертання деталі (для рекомендованої колової швидкості деталі $V_d \cong 30$ м/хв при обробки незагартованих сталей абразивними брусками).

Якщо $N_c = 4,06 \cdot 0,8 = 3,25$ кВт $> N_e = 0,28$ кВт, то обробка виконується.

3.4 Вибір абразивних брусків і режиму обробки для суперфінішування

Розміри абразивних (алмазних) брусків для обробки підшипникових шийок вала вибиралися за рекомендаціями роботи [24]. Сумарна ширина бруска H_6 приймається від 0,15 до 0,35 довжини кола найбільшої оброблювальної діаметральної поверхні 125(-0,20;-0,24) мм. Рекомендується використовувати бруски якомога більшої ширини, тому що це збільшує інтенсивність видалення металу і усунення похибки форми деталі.

Визначаємо сумарну ширину бруска за формулою

$$H_6 = (0,15 - 0,35) \cdot C = (0,15 - 0,35) \cdot 392,5 \approx 59 - 138 \text{ мм},$$

де $C = \pi D_0 = 3,14 \cdot 125 = 392,5$ мм – довжина кола;

$D_0 = 125$ мм – найбільший діаметр оброблювальної поверхні.

Приймаємо ширину бруска 40 мм (стандартний розмір) і тоді сумарна ширина двох брусків буде 80 мм, що задовольняє рекомендованому діапазону розмірів.

Дослідження у виробництві аналогічних інструментальних головок [16, 17, 18, 24], дозволяє дати рекомендації по режимам різання для суперфінішування поверхонь підшипникових шийок діаметрами 125 мм і 100 мм (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Рекомендовані режими суперфінішування шийок вала

Характеристика бруска	Режими різання			Час обробки, с	Досяжна точність форми, мкм	Досяжна шорсткість, R_a , мкм
	V_d м/с	$n_{ок}$ кол/с	P_o , Н			
АСМ20/200/М5 АСМ20/100/М5	0,5	7	2	60	9–12	0,32–0,16
24АМ28С2К6					8–12	0,63–0,16

Розглянемо обробку шийки вала діаметром 125(-0,20;-0,24) мм і довжиною 110(+0,035;0) мм. Матеріал вала – сталь 45 ГОСТ 1050–88. Твердість шийки вала HRC 30...35. Обробка виконувалася спроектованою інструментальною головкою на верстаті моделі 3872Б. Вихідна шорсткість забезпечувалася шліфуванням і знаходилася в діапазоні $R_a = 1,25-0,63$ мкм. Для обробки застосовувалися алмазні бруски марок АСМ20/100/М5 і АСМ20/200/М5. Комплект складався із двох брусків із розмірами алмазного шару 30 x 8 x 2 мм. Також для обробки застосовувалися два абразивних бруска розмірами 40 x 40 мм і довжиною 98 мм. Характеристика абразивних брусків – 24АМ28С2К6 ГОСТ 2424–88.

Режими суперфінішування: швидкість заготовки $V_d = 29,5$ м/хв; частота обертання заготовки $n = 75$ об/хв; кількість осьових коливань головки $n_{ок} = 420$ дв.ход/хв; амплітуда коливань $h = 3$ мм; зусилля притиснення брусків $P_0 = n_6 \cdot F_6 \cdot p_0 = 2 \cdot 39,2 \text{ см}^2 \cdot 0,15 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = 5,88$ кг; ЗОР – емульсол НГЛ–205 (масляний розчин сульфоната натрію, мастило марки АС–6,5 і пасивуючі добавки).

Отримані експериментальні залежності видалення металу від часу обробки наведені на рисунку 3.5.

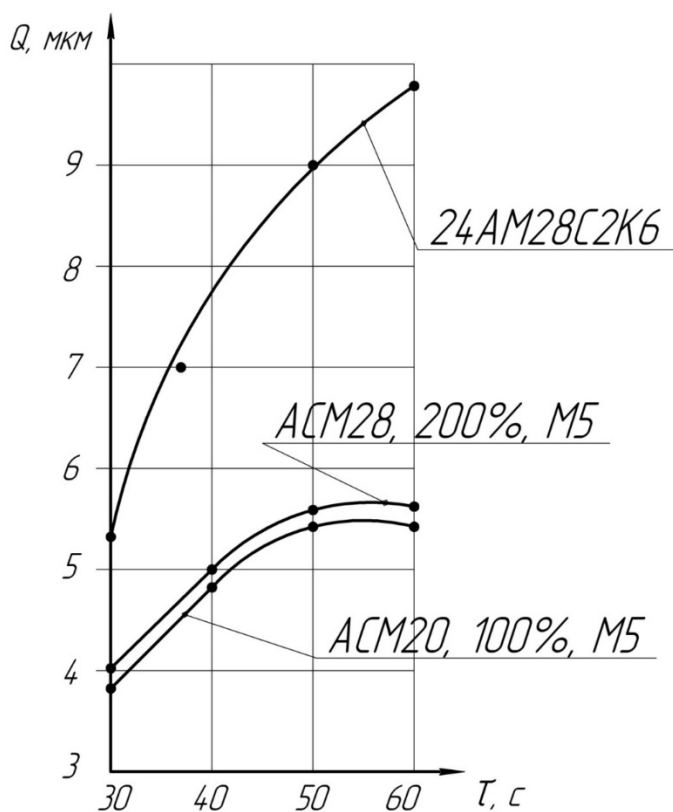


Рисунок 3.5 – Залежність видалення металу Q (мкм) від часу обробки τ (с)

Шляхом побудови отриманих залежностей в логарифмічних координатах та наступної математичної обробки були отримані емпіричні формули, які дійсні в діапазоні часу від 0 до 60 с:

- для алмазних брусків марки АСМ20, 100%, М5 $Q = 0,36 \cdot \tau^{0,66}$;
- для алмазних брусків марки АСМ20, 200%, М5 $Q = 0,4 \cdot \tau^{0,66}$;
- для абразивних брусків марки 24АМ28С2К6 $Q = 0,2 \cdot \tau^{0,95}$.

Прийmemo коефіцієнт жорсткості ТС $\gamma_{\text{ПР}} = 0,0003$ кг/мм, якщо за схемою обробки брусок притискається до поверхні заготовки пружиною.

Час за який зменшується вихідна круглість $\Delta R_{\text{н}} = 12$ мкм до кінцевої величини (за вимогами креслення) $\Delta R_{\text{к}} = 10$ мкм на 2 мкм, при обробки алмазними брусками марки АСМ20/100/М5:

$$\tau = \sqrt[0,66]{\frac{19,6}{0,0003 \cdot 0,18} \cdot \ln \frac{12}{10}} = 2 \cdot 10^7 \text{ с.}$$

Розрахований час обробки для наведеної жорсткості ТС не дозволяє зменшити вихідну (початкову) похибку.

Прийmemo коефіцієнт жорсткості ТС $\gamma_{\text{СТ}} = 1500$ кг/мм (орієнтовне значення жорсткості круглошліфувальних верстатів). Розрахуємо час, який потрібний для усунення вихідної круглості до значення визначеного технічними вимогами креслення.

$$\tau = \sqrt[0,66]{\frac{19,6}{1,5 \cdot 0,18} \cdot \ln \frac{12}{10}} \approx 51 \text{ с.}$$

У випадку застосування абразивних брусків з характеристикою 24АМ28С2К6 час видалення вихідної похибки буде:

$$\tau = \sqrt[0,95]{\frac{19,6}{1,5 \cdot 0,1} \cdot \ln \frac{12}{10}} \approx 29 \text{ с.}$$

На рисунку 3.6 наведені залежності $\tau = f_2(\Delta R_H/\Delta R_K)$, які розраховувалися за формулою (3.12) для алмазних АСМ20/100М5 (1–3) і абразивних брусків 24АМ28С2К6 (4).

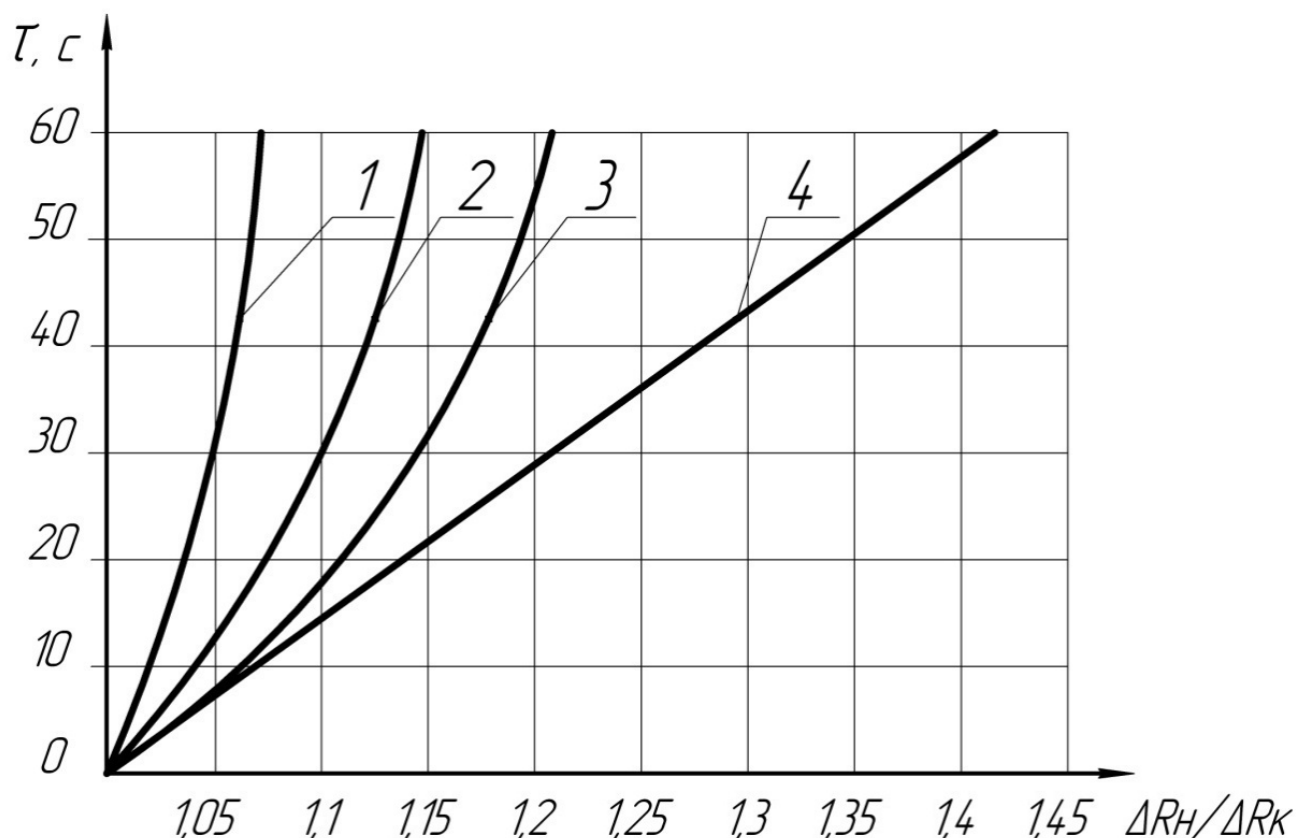


Рисунок 3.6 – Час обробки, який потрібний для усунення вихідного биття і похибки форми поверхні: 1 – для $\gamma=500$ кг/мм; 2 – для $\gamma=1000$ кг/мм; 3 і 4 – для $\gamma=1500$ кг/мм

Отримані значення часу обробки відповідають різним значенням жорсткості ТС, яка змінювалася в межах 500–1500 кг/мм. За даними рисунку 3.6 збільшення жорсткості ТС від 500 до 1500 кг/мм при обробки алмазними брусками дозволяє за 60 секунд підвищити інтенсивність виправлення круглості в (1,07–1,21) рази.

Застосування абразивних брусків, які мають більш високу різальну спроможність по відношенню до алмазних брусків, дозволяють підвищити виправлення вихідної круглості у 1,42 рази.

Зменшення круглості у разі збільшення часу обробки сповільнюється. Це пояснюється як зменшенням швидкості видалення металу, так і зниженням круглості оброблювальної поверхні, а саме, підвищенням питомого тиску, який витрачається на усунення круглості.

Перетворимо формулу (3.12) і отримаємо:

$$\Delta R_{\text{к}} = \Delta R_{\text{н}} \cdot e^{-\tau^{\alpha} \gamma k / n_6 F_6 p_0} . \quad (3.13)$$

В свою чергу, підставив у формулу (3.13) рівняння (3.2), отримаємо:

$$\Delta p = \frac{\gamma}{n_6 F_6} \cdot \Delta R_{\text{н}} \cdot e^{-\tau^{\alpha} \gamma k / n_6 F_6 p_0} . \quad (3.14)$$

На рисунку 3.7 наведені залежності $\Delta p = f_3(\tau)$ і $\Delta R = f_4(\tau)$ для алмазних брусків АСМ20/100/М5 (№1 і №2) і абразивних брусків 24АМ28С2К6 (№3 і №4), які отримані шляхом розрахунків за формулами (3.13) і (3.14) при $\gamma = 1500$ кг/мм і $\Delta R_{\text{н}} = 12$ мкм. За даними цього рисунку, після 60 с обробки алмазними брусками прирощення питомого тиску знижується з 3,75 до 3,1 кг/см², а при обробки абразивними брусками – з 1,5 до 1,0 кг/см².

При суперфінішування одночасно із усуненням вихідної похибки форми, треба видаляти вихідну шорсткість та дефектний шар, який був отриманий на попередньої операції шліфуванням. Питомий тиск брусків вибирається із урахуванням того, щоб потрібний припуск був видалений за мінімальний час у напрямку найменшого радіусу оброблювальної циліндричної поверхні заготовки. Але одночасно треба витримати умову:

$$p = \Delta p \leq p_{\text{доп}},$$

де p – питомий тиск брусків в напрямку найменшого радіусу оброблювальної циліндричної поверхні заготовки, кг/см²;

$p_{\text{доп}}$ – максимальний тиск брусків, якій допустимий для даної характеристики, кг/см².

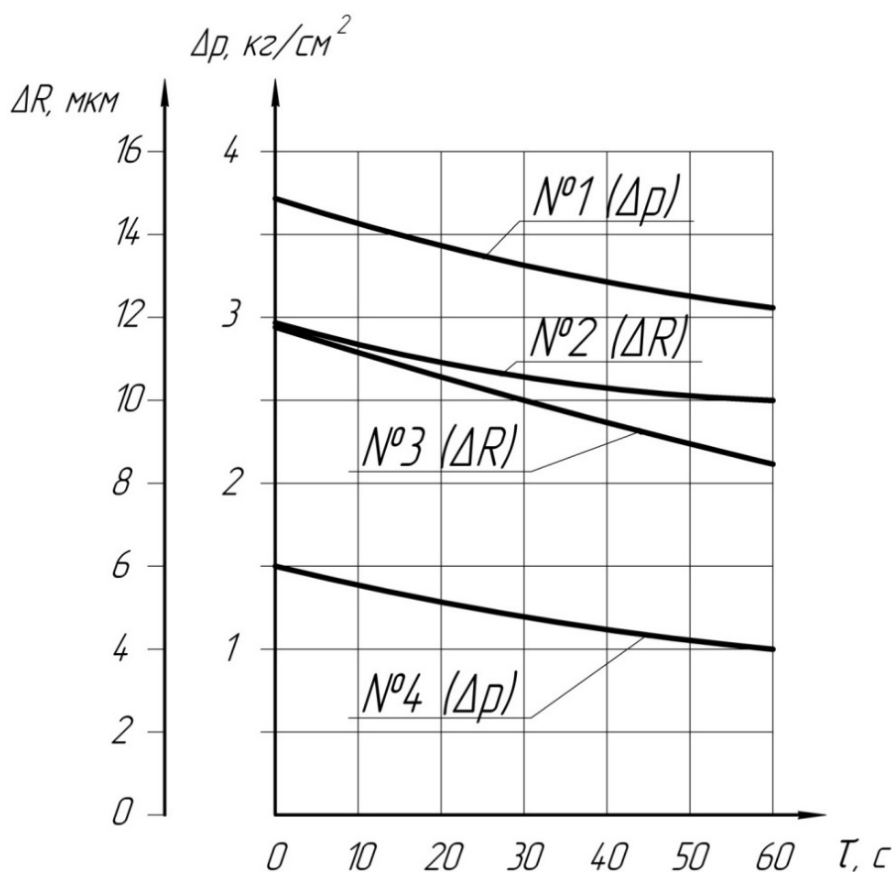


Рисунок 3.7 – Залежність прирощування питомого тиску Δp і зменшення похибки форми ΔR від часу обробки τ

3.5 Висновок

1. Із збільшенням жорсткості ТС інтенсивність виправлення вихідної похибки круглості шийок вала при обробки суперфінішуванням збільшується. Встановлено, що інтенсивність виправлення похибки при обробки абразивними брусками вище, ніж при обробки алмазними брусками.

2. Для виправлення круглості, радіального биття треба застосовувати інструментальну головку, в конструкції якої необхідно абразивні бруски жорстко з'єднувати із штоком гідравлічного циліндру радіальної подачі.

3. Для виправлення вихідної круглості і радіального биття підшипникових шийок вала, обробку треба виконувати абразивними брусками із високими різальними властивостями, які зберігаються при змінюванні питомого тиску за час оброблення заготовки.

ВИСНОВКИ

1. Виконаний аналіз службового призначення відцентрового нагнітача, вала, перевірена повнота і правильність технічних вимог креслення деталі.

2. Розрахований тип виробництва – дрібносерійний, вибрана форма його організації – групова, виконаний аналіз технологічності конструкції вала за якісними і кількісними показниками.

3. Зроблений аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення вала. Визначені окремі технологічні операції, які треба удосконалювати. Визначені задачі для розроблення нової структури оздоблювальної операції – суперфінішування абразивними брусками підшипникових шийок вала.

4. Запропонований новий варіант технологічного процесу виготовлення вала для умов дрібносерійного виробництва. Визначені продуктивні методи оброблення циліндричних поверхонь вала.

5. За технічними вимогами креслення та об'єму випуску виробів виконано техніко-економічне обґрунтування методу виготовлення вихідної заготовки – поковка на гідравлічному пресі і розроблене робоче креслення заготовки.

6. Розрахунково-аналітичним методом за програмою, розробленою на ЕВМ, визначені припуски і граничні розміри на поверхню діаметром 120h7.

7. Вибрані і обґрунтовані оптимальні схеми базування та закріплення заготовки для операції 020 «Токарно-гвинторізна» і операції 030 «Вертикально-фрезерна». Для наведених операцій запропоновані металорізальні верстати, технологічне оснащення, різальний та вимірювальний інструмент. Виконаний розрахунок режимів різання та норм часу на визначені операції.

8. Для фрезерування шпонкових пазів на операції 030 «Вертикально-фрезерна» розроблений спеціальний верстатний пристрій. Пристрій дозволяє без зняття заготовки з верстата суттєво скоротити допоміжний час на її переустановлення при обробки шпонкових пазів, які розташовані у різних площинах вала.

9. Для контролю радіального биття всіх шийок вала в межах 0,01–0,02 мм відносно осі вала (лінія центрів Ж) розроблений спеціальний контрольно-вимірювальний пристрій.

10. В магістерській роботі для удосконалення оздоблювального етапу обробки вала виконані теоретичні дослідження для подальшого проектування і розроблення конструкції інструментальної головки для суперфінішування діаметральних підшипникових поверхонь деталі. Для забезпечення діаметральних розмірів підшипникових шийок вала 100(-0,2;-0,23) мм і 125(-0,2;-0,24) мм, їх шорсткості за критерієм $R_a = 0,32$ мкм розроблена спеціальна інструментальна головка для суперфінішування абразивними брусками. В конструкцію інструментальної головки закладена схема з двостороннім охоптом брусками оброблювальної поверхні шийки вала, в якій реалізований жорсткий кінематичний зв'язок між брусками із притиснення брусків до поверхні заданою силою гальмувальних ланцюгів.

Пристрій дозволяє в автоматичному режимі виправляти похибку циліндричної форми підшипникової шийки вала і забезпечувати технічну вимогу креслення деталі в межах 0,01 мм.

Для обробки вала методом суперфінішування надані рекомендації по вибору режимів різання і часу на виправлення вихідної похибки циліндричної форми деталі.

11. Розроблені практичні заходи по охороні праці та екології дільниці де виготовляється вал. Для забезпечення дільниці оптимальним освітленням виконані відповідні розрахунки.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1 Нагнетатель центробежный Э1700–11–2М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 398Н–Т Текст / Сумы: 1990. – 58 с.
- 2 Современные технологии в машиностроении Текст: [Сб. науч. ст.] / Нац. техн. ун-т "Харьк. политехн. ин-т", под общ. ред.: А. И. Грабченко Т.1: 2006. – 439 с.
- 3 **Горбацевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения Текст / А. Ф. Горбацевич, Шкред В. А. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск: Высшая школа, 1983. – 256 с.
- 4 **ГОСТ 25347–82.** Поля допусков и рекомендуемые посадки.
- 5 **ГОСТ 14.301–73.** Общие правила разработки технологических процессов и выбора средств технологического оснащения.
- 6 **ГОСТ 14.204–73.** Правила обеспечения технологичности конструкции деталей.
- 7 **ГОСТ 14.201–73.** Общие правила отработки конструкции на технологичность.
- 8 Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. Т.1 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4^е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1985. – 656 с.
- 9 Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. Т.2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4^е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1986. – 496 с.
- 10 **Маталин, А. А.** Технология машиностроения: учеб. для машиностроит. вузов Текст / А. А. Маталин. – Ленинград: Машиностроение, 1985. – 496 с.
- 11 Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник Текст / А. Н. Резников и др. – Москва: Машиностроение, 1977. – 391 с.
- 12 **Бишутин, С. Г.** Технологическое обеспечение состояния поверхностей деталей машин при шлифовании Текст / С. Г. Бишутин // Вестн. Харьк. политех. ин-та: науч.-техн. сб. (серия «Машиностроение»). – Харьков: Вища школа, 2005. – № 3. – Вып. 8. – С. 9–14.

13 **Корчак, С. Н.** Производительность процесса шлифования стальных деталей Текст / С. Н. Корчак. – Москва: Машиностроение, 1974. – 280 с.

14 **Ящерицын, П. И.** Шлифование металлов Текст: / П. И. Ящерицын, Е. А. Жалнерович. – изд. 2-е, доп. и перераб. – Минск: Беларусь, 1970. - 463 с.

15 **Ящерицын, П. И.** Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов Текст / П. И. Ящерицын, А. Г. Зайцева, А. И. Барботько – Минск: Наука и техника, 1976. – 328 с.

16 **Кремень, З. И.** Хонингование и суперфиниширование деталей Текст / З. И. Кремень, И. Х. Стратиевский. – Ленинград: Машиностроение, 1988. – 137 с.

17 **Наерман, М. С.** Прецизионная обработка деталей алмазными и абразивными брусками Текст / М. С. Наерман, С. А. Попов. – Москва: Машиностроение, 1971. – 224 с.

18 **Буторин, Г. И.** Оптимальное давление для брусков при суперфинишировании Текст / Г. И. Буторин. // Вестник машиностроения. – 1971. – №5. – С. 39-40.

19 **А. с. №331881 СССР, М. кл. В 24 В 35/00.** Устройство для финишной обработки Текст / А.Э. Исаков, В.Н. Комиссаржевская (СССР) // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. - 1972. – Бюл. № 10.

20 **Дунин-Барковский, И. В.** Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности Текст / И.В. Дунин-Барковский, А.Н. Карташова. - М.: Машиностроение, 1978. – 232 с.

21 **Цента, Е. Л.** Кинематика движения при суперфинишировании Текст / Е. Л. Цента, М. А. Ляпунов // Вестник ХПИ. – 1969. - №35 – С. 22-26.

22 **Савчук, В. И.** Суперфиниширование с радиально-колеблющимися абразивными брусками Текст / В. И. Савчук, А. В. Гришкевич, В. Л. Горбенко. // Вестник машиностроения. – 1979. – №8. – С. 47–49.

23 **Волков, І. В.** Підвищення продуктивності процесу вібраційної обробки деталей на оздоблювальних і зміцнюючих операціях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / І.В. Волков. – Маріуполь, 2008. - 20 с.

24 **Мазальский, В. Н.** Суперфинишные станки Текст / В. Н. Мазальский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1988. – 127 с.

25 **Патент №81162 Україна, МПК В24В 35/00.** Суперфінішна головка Текст / В. І. Савчук, М. О. Телетов, В. О. Іванов (Україна). – №а200512383; заявл. 22.12.2005; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 9.

26 **Руденко, П. А.** Отделочные операции в машиностроении Текст / П. А. Руденко, М. П. Шуба, В. А. Огнивец – изд. 2-е, перераб. и доп. – Киев: Техника, 1990. – 150 с.

27 **Савчук, В. И.** Методика расчёта оптимальных характеристик суперфинишных устройств Текст / В. И. Савчук // Вісник СумДУ. – 2000. – №19. – С. 135–141.

28 **ОНТП 24–86.** Общесоюзные нормы технологического проектирования. Определение категорий помещений по взрывной и пожарной опасности.

29 **СНиП 2.04.05–91.** Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

30 **ДБН В.2.5-28–2006.** Природне і штучне освітлення.

31 **ДБН Д.2.6-3–2000.** Збірник 3. Системи вентиляції і кондиюнування повітря.

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