

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Національний університет «Запорізька політехніка»

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект (роботу)

Використання безабразивної поверхневої обробки в технологічному процесі обробки вала

(вказати тему дипломного проекту (роботи))

Студент (ка) Заведєєв В.О.Спеціальність 131 Прикладна механіка

(код, найменування спеціальності)

Обсяг проекту повнийКількість аркушів креслень 7 А1; 2 А2; 2 А3Кількість сторінок пояснювальної записки 136 стор.

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень спроектовано технологічний процес виготовлення вала, оброблявано обраним обладнанням, скарпеленту ретинів розомая, спроектовано приєднання, вали, захови автоматизації

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню

виконана робота відповідає завданню

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту (роботи), рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи

при виконанні проекту виконувались розрахунки конструкції на міцність, розробка управлюючих програм по 3D моделі

г) негативні особливості виконання проекту (роботи) є сумнівним можливість резервувати наші в багатомисному приєднанні

д) позитивні особливості робота виконана на рівні високої якості

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту (роботи)

графічний матеріал та пояснювальна

замисла виконали відповідно до
стандарту.

є) відгук про проект (роботу) загалом робота виконана
в повному обсязі

ж) інші зауваження _____

з) оцінка проекту (роботи) незважаючи на
зауваження робота досягує
очікуваних результатів

Рецензію склав

Зав.кадр. ТМБД Яре С.С.
(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

«02» 12 2019 р.

[13:41:43] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №762 [3] (200013 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[13:41:55] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №767 [3] (200013 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[13:42:11] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №772 [3] (200013 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[13:42:19] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №777 [3] (200013 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[13:42:54] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №782 [3] (200028 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[13:43:04] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №787 [3] (200028 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[13:43:58] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №792 [3] (200028 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[13:44:17] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №797 [3] (200012 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[13:44:53] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №802 [3] (200028 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[13:45:47] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №807 [3] (200028 миллисек.): Yandex (
Время ожидания операции истекло)

[13:45:47] Тип проверки: *Стандартная*

[13:45:47] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 26%)**

[13:45:47] **Уникальность текста 85%**[©] (Проигнорировано подстановок: 0%)

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Заведєєва В.О.,
провів зав. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

29.11.2019р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний
 (повне найменування інституту, факультету)

Технології машинобудування
 (повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістерської (групи)
 (ступінь вищої освіти)

на тему Використання безбразивної поверхової
обробки в механологічному процесі обробки валу

Виконав: студент(ка) II курсу, групи М-18м

Спеціальності 131 «Застосована механіка»
 (код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування
Заведєєв В.О.
 (прізвище та ініціали)

Керівник Розєво О.Б.
 (прізвище та ініціали)

Рецензент Дядєв С.І.
 (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технології машинобудування
 Ступінь вищої освіти (Магістрівський) другий
 Спеціальність 131 Інтелектуальна механіка
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПМБ
Дедз С.Г.
 « 02 » 12 20 19 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Завадєєву Володимиріву Александровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Використання безбрезивної поверхневої обробки в технологічній процесі обробки валу

керівник проекту (роботи) Козлова Олена Борисівна, к.т.н. доц
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від « 26 » листопада 20 19 року № 416

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи) креслення деталі «Вал»,
протокол випуску N=1500 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) технологічна картка, конструкторська шпилька, автоматизація, оптимізація шпильки деталі, ступеневання, вплив об'ємної економії: розробка або заходів охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення деталі «Вал»; креслення згодівки, 3D модель деталі;
3D модель згодівки, електричні виготовлення деталі, робоче проектування, конструкторське проектування, розрахунково-технологічна карта, автоматизація, 3 міста ступеневання.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Технол. чел	Козлова О.Б. к.т.н. доц.		
Констр. гот	Козлова О.Б. к.т.н. доц.		
Автоматиз.	Козлова О.Б. к.т.н. доц.		
Викор. безоп	Козлова О.Б. к.т.н. доц.		
Розр на мун	Козлова О.Б. к.т.н. доц.		
Відня ок	Козлова О.Б. к.т.н. доц.		
Охорона праці	Шмирко В.І. к.т.н. доц.		
Норм. констр	Логошкін В.О. к.т.н. доц.		

7. Дата видачі завдання « 23 » 09 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	08.10.2018	
2	Конструкторська частина	22.10.2018	
3.	Автоматизація міжувельної операції	05.11.2018	
4	Розрахунок дії на міцність	18.11.2018	
5	Використання безоперивної, аварійної обробки в металургійному процесі обробки вальсу	25.11.2018	
6	Відня економічної ефективності економічності розробки або заходів	29.11.2018	
7	Охорона праці	01.12.2018	

Студент(ка)

(підпис)
Заведусєв В.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)
Козлова О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 136 с., 64рис., 15 табл., 38 дж., 2 дод.

Об'єкт дослідження – деталь «Вал».

Мета роботи – використання безабразивної поверхневої обробки в технологічному процесі обробки валу.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний.

В магістерській роботі спроектовано технологічний виготовлення валу редуктора, обрано обладнання та інструмент, розраховані режими різання та норми часу, спроектовано робоче та контрольне пристосування, розроблені заходи автоматизації, розраховано деталь на міцність, виконано спеціальне завдання, проведено розрахунок економічної ефективності, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ПРИПУСК, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ШТУТУЧНО-КАЛЬКУЛЯЦІЙНИЙ ЧАС, СКОБА, ЧПК, БУФО, УЗКС, ШОРСТКІСТЬ, NX САМ, КІНЦЕВИЙ ЕЛЕМЕНТ.

ЗМІСТ

Реферат	
Перелік умовних позначень	
Вступ.....	8
1 Технологічна частина	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	11
1.4 Проектування технічного маршруту обробки деталі	17
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	17
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	19
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	24
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	24
1.6 Розрахунок режимів різання	30
1.7 Технічне нормування операції	45
1.8 Розробка трьох технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК	52
1.8.1 Розробка токарної операції	52
1.8.2 Розробка свердлильної операції	54
1.8.3 Розробка фрезерної операції	55
2 Конструкторська частина	57
2.1 Проектування робочого пристосування	57
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	57
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність	58
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір силового пристрою	66
2.2 Проектування контрольного пристосування	71
2.2.1 Опис конструкції і принципу роботи пристосування	71
2.2.2 Вибір засобу вимірювання	72
2.2.3 Розрахунок допустимої сумарної похибки вимірювань	74
3 Автоматизація шліфувальної операції	77
4 Розрахунок деталі на міцність	85
4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі	85

4.2	Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції	87
4.3	Оптимізація геометрії деталі.....	89
5	Використання безабразивної поверхневої обробки в технологічному процесі обробки валу	90
5.1	Огляд методів фінішної обробки поверхонь	90
5.2	Устаткування для методів фінішної обробки поверхонь.....	92
5.3	Пропозиції для обробки деталі	97
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки або заходів	108
7	Охорона праці	114
	Висновок	130
	Перелік посилань.....	131
	ДОДАТОК А. Специфікація робочого пристосування	132
	ДОДАТОК Б. Специфікація контрольного пристосування.....	136

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТП	– технологічний процес;
ГКМ	– горизонтально-кувальна машина;
КГШП	– кривошипний гарячештамповочний прес;
МОП	– маршрут обробки поверхонь;
РАМОП	– розрахунково-аналітичний метод обробки поверхонь;
ЗОР	– змащувально-охолоджуюча рідина;
ЧПК	– числове-програмне керування;
РЧ	– реле часу;
ЕОМ	– електронно-обчислювана машина;
БУФО	– безабразивна ультразвукова фінішна обробка;
УЗКС	– ультразвукова коливальна станція;
ППР	– планово-попереджувальний ремонт.

ВСТУП

Найважливішою галуззю важкої індустрії є машинобудування. Темпи розвитку і технологічний рівень промисловості, сільського господарства залежить від того, що в якій мірі задовольняються їх потреби в машинах і наскільки вони досконалі.

Технологія машинобудування - наука про способи виготовлення деталей машин, а також складання в вузли і готові машини. Предметом вивчення в технології машинобудування є виготовлення виробів заданої якості з встановленою програмою випуску кількості при найменших витратах матеріалів, мінімальної собівартості і високої продуктивності праці. Сукупність усіх дій людей і знарядь виробництва, пов'язаних з переробкою сировини і напівфабрикатів в заготовки, готові деталі, складальні одиниці і готові вироби на даному підприємстві, називається виробничим процесом. Головною частиною виробничого процесу є технологічний процес, який представляє з себе процес обробки заготовки на верстатах з метою перетворення її в готову деталь.

Застосування сучасних машин і механізмів, що працюють на великих швидкостях і зі значними навантаженнями, вимагає від конструкторів і технологів рішення проблеми підвищення терміну їх служби та, відповідно, терміну служби окремих деталей, що входять до складу машин і механізмів.

Якість поверхневого шару є одним з найголовніших чинників, що визначають довговічність деталей машин і механізмів. Ретельно оброблена загальновідомими способами поверхню деталей, що є носієм залишкових макро- і мікронапруг, втомних макро- і мікротріщин, шаржованих зерен абразиву і інших дефектів. Для підвищення міцності і зносостійкості деталей необхідно застосовувати методи обробки, що покращують фізичні властивості, структуру і мікрогеометрію поверхні.

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Об'єктом аналізу для дипломного проектування є деталь «Вал». Вал - деталь машини, призначена для передачі крутного моменту і сприйняття діючих сил з боку розташованих на ньому деталей і опор. За формою геометричної осі він є прямим. За своєю формою відноситься до категорії ступінчасті. Матеріалом деталі є сталь 30 ХГСА ГОСТ 4543 - 71. Даний вал є елементом редуктора, який, в свою чергу, входить до складу такого виробу, як газнокосарка «Мотор Січ ГК-500-2». Особливістю вала є фланець з двома лисками, на торці якого розташовано 8 отворів Ø10 мм. На валу розташовані два послідовно йдуть шпонкових паза. Креслення деталі наводиться в додатку. 3D модель деталі «Вал» зображено на рисунку 1.1.

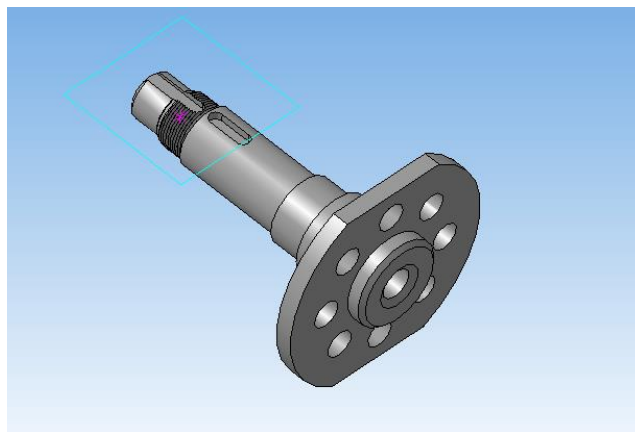


Рисунок 1.1 – 3D модель деталі «Вал»

Деталь виготовляється із сталі 30 ХГСА ГОСТ 4543-71. Основні її характеристики визначені в табл. 1.1

Таблиця 1.1 — Основні характеристики сталі 30 ХГСА ГОСТ 4543-71

Характеристика	Значення характеристики
1	2
Клас сталі	Сталь конструкційна легована
Термообробка	Гартування 880°C, мастило, відпуск 540°C, вода
Температура кування °C	Початок 1240, кінець 800. Діаметри до 50 мм охолоджуються на повітрі, 51-100 мм - в ящиках
Твердість матеріалу	НВ 10 ⁻¹ = 229 МПа

Продовження таблиці 1.1

1	2
Температура критических точок	$A_{c1} = 760$, $A_{c3}(A_{cm}) = 830$, $A_{r3}(A_{rcm}) = 705$, $A_{r1} = 670$, $Mn = 352$
Зварюваність матеріалу	Обмежено зварювана
Оброблюваність різанням	Горячекатаний стан при НВ 207-217 та $\sigma_B=710$ МПа, $K_{v_{тв.спл}}=0,85$ и $K_{v_{б.ст}}=0,75$
Флокеночутливість	Чутлива
Здатність до відпускнуї крихкості	Здатна

Хімічний склад матеріалу сталь 30ХГСА представлений в табл. 1.2

Таблиця 1.2 — Хімічний склад матеріалу сталь 30ХГСА ГОСТ 4543-71

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,28-0,34	0,9-1,2	0,8-1,1	До 0,3	До 0,025	До 0,025	0,8-1,1	До 0,3

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

В залежності від розміру виробничої програми, характеру продукції, а також механічних та економічних умов виробничого процесу усі різноманітні виробництва умовно поділяються на три основні види: одиничне, серійне та масове. У кожного з цих видів виробничий процес має свої характерні особливості та кожному з них властива визначена форма організації роботи. На даному етапі проектування важко правильно визначити вид виробництва, тому проведемо попереднє визначення типу виробництва за виробничою програмою та масою деталі. Попередньо тип виробництва вибираємо за табл. 1.3

Таблиця 1.3 – Вибір типу виробництва.

Тип виробництва	Кількість деталей, що оброблюються за рік		
	важкі, $m > 100$ кг	середні, $m = 10..100$ кг	легкі, $m < 10$ кг
Одиничне	до 5	до 10	до 100
Дрібносерійне	5...10	10...200	100...500
Серійне	100...300	200...500	500...5000
Крупносерійне	300...1000	500...5000	5000...50000
Масове	більше 1000	більше 5000	більше 50000

Враховуючи масу деталі $m = 0,53$ кг. та річну програму випуску $N = 1500$ штук, тип виробництва можна вважати серійним. Форми організації технологічних процесів згідно ГОСТ 14312-74 залежать від встановленого порядку виконання операцій ТП, розташування технологічного устаткування, кількість виробів. Для обробки даної деталі вибираємо поточну форму організації ТП.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Для отримання заготовки в умовах серійного виробництва простої за формою деталі, порівняємо два методи – штампування на ГKM та штампування на КГШП.

Вихідні дані: маса деталі $m_0 = 0,53$ кг; матеріал: Сталь 30 ХГСА ГОСТ 4543-71; річна програма: $N = 1500$ шт. Ескіз деталі зображено на рис. 1.2

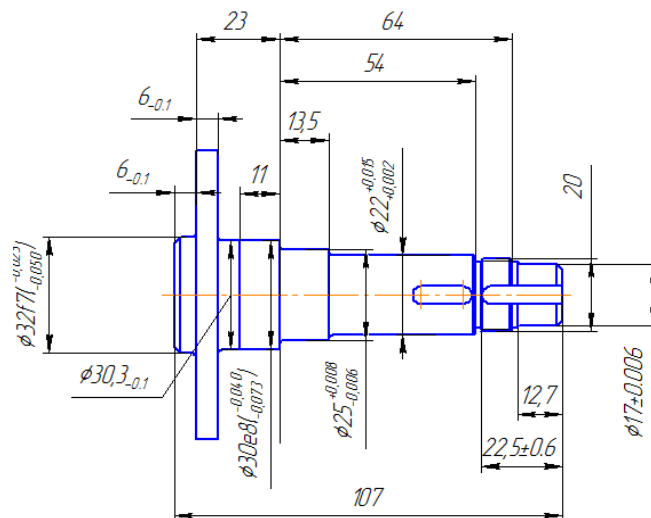


Рисунок 1.2 – Ескіз деталі з розмірами для проектування заготовки

Штампування на ГKM.

Вихідні дані: клас точності – Т4; група сталі – М1; ступінь складності – С2; вихідний індекс – 14. 3D модель штампованої заготовки на ГKM зображено на рис. 1.4. Припуск на розміри штампованої заготовки на ГKM та розміри поверхонь зображено на табл. 1.4

Таблиця 1.4 – Припуск на розміри штампованної заготовки на ГKM та розміри поверхонь

Деталь	Припуск литої заготовки	Розміри литої заготовки
Ø17	3,0	Ø 23
Ø 22	3,0	Ø 28
Ø 30	3,0	Ø 36
Ø 80	3,0	Ø 86
Ø 32	3,0	Ø 38
12,7	3,0	19
22,5	3,0	28,5
54	3,0	60
64	3,0	70
13,5	3,0	19,5
23	3,0	29
6	3,0	12
6	3,0	12
107	3,0	113

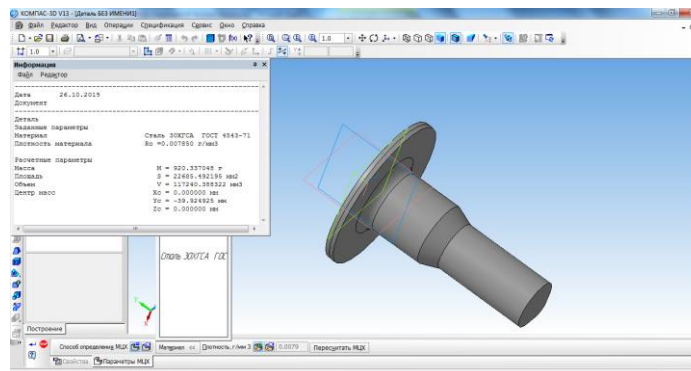


Рисунок 1.3 – 3D модель штампованної заготовки на ГKM

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу за формулою:

$$K_{ГKM} = \frac{m_{дет}}{m_{заг}}. \quad (1.1)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.1):

$$K_{ГKM} = \frac{0,53}{0,92} = 0,57.$$

Розрахуємо собівартість заготовки за формулою (грн):

$$C_{ГКМ} = \frac{C_i}{1000} \cdot m_{заг} \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} - (m_{заг} - m_{дем}) \cdot \frac{S_{омх}}{1000}, \quad (1.2)$$

де C_i – базова вартість 1т. заготовок [1, т. 1.29, с. 20];

K_m – коефіцієнт, що залежить від класу точності [1, т. 1.24, с. 18];

K_c – коефіцієнт, що залежить від групи складності [1, т. 1.25, с. 18,];

K_b – коефіцієнт, що залежить від маси [1, т. 1.26, с. 19];

K_m – коефіцієнт, що залежить від матеріалу [1, т. 1.27, с. 19];

K_n – коефіцієнт, що залежить від групи серійності [1, т. 1.28, с. 19].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.2):

$$C_{ГКМ} = \frac{3150}{1000} \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 0,87 \cdot 1,27 \cdot 1 - (0,92 - 0,53) \cdot \frac{140}{1000} = 3,47 \text{ грн.}$$

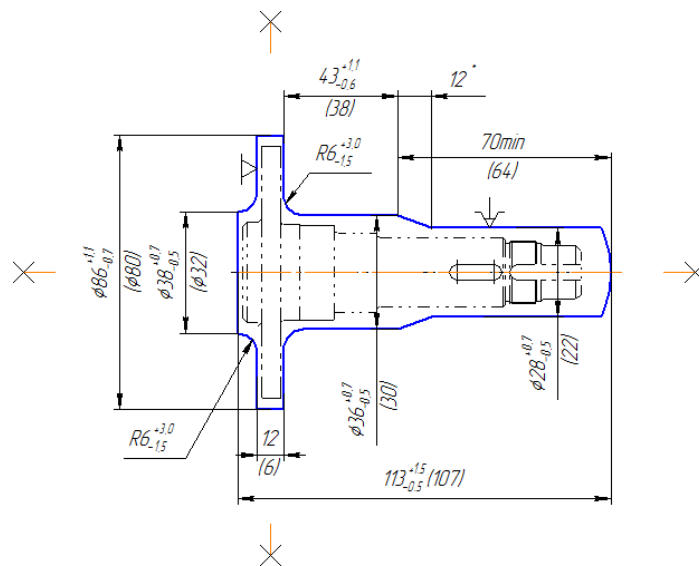


Рисунок 1.4 – Ескіз поковки на ГКМ

Штамування на КГШП.

Вихідні дані: клас точності – Т4; група сталі – М2; ступінь складності – С1; вихідний індекс – 14.

Припуски на розміри штамованої заготовки на КГШП знаходяться в таблиці 1.5

Таблица 1.5 – Припуск на розміри штампованної заготовки на КГШП та розміри поверхонь

Деталь	Припуск штампованной заготовки	Розміри штампованной заготовки
Ø17	2,0	Ø 21
Ø 22	2,0	Ø 26
Ø 30	2,0	Ø 34
Ø 80	2,2	Ø 84
Ø 32	2,0	Ø 36
12,7	2,0	17
22,5	2,0	27
54	2,0	58
64	2,0	68
13,5	2,0	18
23	2,0	27
6	2,0	10
6	2,0	10
107	2,0	111

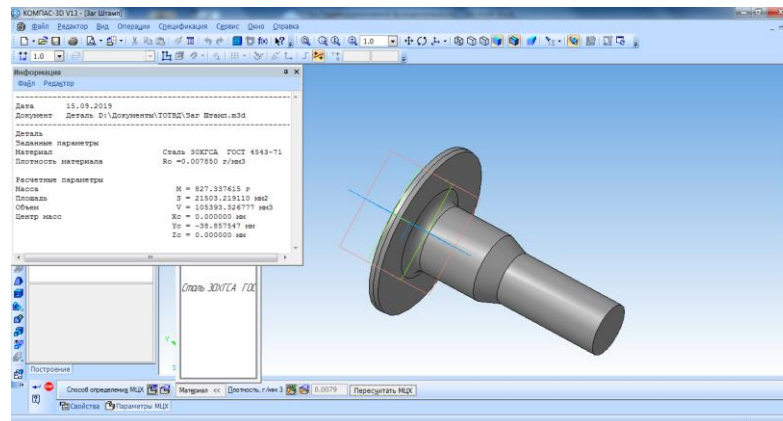


Рисунок 1.5 – 3D модель штампованной заготовки на КГШП

Виконуємо розрахунки за формулою (1.1):

$$K_{КГШП} = \frac{0,53}{0,83} = 0,63.$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.2):

$$C_{КГШП} = \frac{3500}{1000} \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 0,87 \cdot 1,27 \cdot 1 - (0,83 - 0,53) \cdot \frac{140}{1000} = 3,87 \text{ грн.}$$

$$B_{32} = (S_{заг\ лум} - S_{заг\ ум}) \cdot N. \quad (1.5)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.5):

$$B_{32} = (3,87 - 3,47) \cdot 1500 = 600 \text{ грн.}$$

Розраховуємо абсолютне річне збереження при виробництві за формулою (грн):

$$E_3 = B_{32} - Z_{M3}. \quad (1.6)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.6):

$$E_3 = 600 - 490 = 110 \text{ грн.}$$

Отже, заготовка виготовлена штампуванням на ГКМ дешевше ніж заготовка виготовлена штампуванням на КГШП. Її впроваджуймо у виробництво, вона є більш дешевою та простою при обробці. Підсумок розділу показано в табл. 1.6

Таблиця 1.6 – Економічне порівняння

Показники	Позначення	Од. вимірювання	Варіанти	
			Штамповка На ГКМ	Штамповка На КГШП
Маса деталі	$m_{дет}$	кг	0,53	
Маса заготовки	$m_{заг}$	кг	0,92	0,83
КВМ	$K_{им}$		0,57	0,63
Базова ціна заготовки	C_i	грн	3150	3500
Коефіцієнти	K_T		1	1
	K_M		1,22	1,22
	K_c, K_3		0,87	0,87
	K_B		1,27	1,27
	K_P		1	1
Ціна за 1т стружки	$S_{отх}$	грн	140	
Вартість однієї заготовки	$S_{заг}$	грн	3,47	3,87

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Аналіз виробу на технологічність являє собою одну з найбільш важких функцій технологічної підготовки виробництва. Вона зумовлена тісним зв'язком між конструкцією виробу та технологією його виробництва.

Кожен виріб повинен виготовлятися з мінімальними витратами. Їх можливо значно скоротити правильним вибором технологічного процесу, його оснащення, механізації та автоматизації, застосування оптимальних режимів обробки та правильної підготовки виробництва.

Основним критерієм оцінювання є якісна оцінка технологічності та конструкції деталі:

1. Конструкція деталі складається із стандартних та уніфікованих конструктивних елементів.

2. Більшість поверхонь, що оброблюються, мають оптимальну ступінь точності та шорсткості.

3. Контур деталі має просту конфігурацію, що надає вільний доступ ріжучого інструменту.

4. Конструкція деталі дозволяє отримати заготовку з розмірами і конфігурацією близькими до готової деталі.

Коефіцієнт використання матеріалу розраховуємо за формулою 1.3. Так як $\eta = 0,57 < 0,8$, то деталь у цій показником не технологічна.

Розраховуємо коефіцієнт точності обробки за формулою:

$$K_{TЧ} = 1 - \frac{1}{A_{CP}} > 0,8, \quad (1.7)$$

де A_{CP} – середній квалітет точності деталі.

Розраховуємо середній квалітет точності деталі за формулою:

$$A_{CP} = \frac{\kappa_1 n_1 + \kappa_2 n_2 + \dots + \kappa_n n_n}{n_{общ}}, \quad (1.8)$$

де n – кількість розмірів, які мають відповідний квалітет;
 κ – квалітет точності.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.8):

$$A_{CP} = \frac{13 \cdot 2 + 12 \cdot 8 + 11 \cdot 10 + 7 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 9 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 7 \cdot 2 + 6 \cdot 2}{29} = 10,72.$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.7):

$$K_{Tq} = 1 - \frac{1}{10,72} = 0,9 > 0,8.$$

Розраховуємо коефіцієнт шорсткості за формулою:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{CP}} < 0,32, \quad (1.9)$$

де B_{CP} – середній клас шорсткості.

Розраховуємо середній клас шорсткості за формулою:

$$B_{CP} = \frac{k_1 n_1 + k_2 n_2 + \dots + k_n n_n}{n_{\text{общ}}}, \quad (1.10)$$

де k – клас шорсткості;

n – кількість поверхонь, що мають відповідну шорсткість.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.10):

$$B_{CP} = \frac{8 \cdot 1 + 7 \cdot 2 + 6 \cdot 12 + 5 \cdot 1 + 4 \cdot 13}{29} = 5,2$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.9):

$$K_{ш} = \frac{1}{5,2} = 0,19 < 0,32.$$

Виходячи з розрахунків можна дійти висновку, що за більшістю якісних і кількісних критеріїв оцінки технологічності, деталь є технологічною, винятком є коефіцієнт використання матеріалу.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Визначимо показники точності та якості основних поверхонь деталі.
Виконуємо розробку МОП для поверхні 11.

Вихідні данні:

Поверхня – зовнішня циліндрична;

Параметри заготовки: $\phi 26 \text{ IT}16 \left(\begin{smallmatrix} +0,7 \\ -0,5 \end{smallmatrix} \right) R_a 50$;

Параметри деталі: $\phi 22 \text{ k}6 \left(\begin{smallmatrix} +0,015 \\ -0,002 \end{smallmatrix} \right) R_a 0,8$;

Розраховуємо уточнення за показниками за формулами:

$$\varepsilon_{Td} = \frac{Td_3}{Td_0}. \quad (1.11)$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_0}. \quad (1.12)$$

Виконуємо розрахунки за формулами (1.11) та (1.12):

$$\varepsilon_{Td} = \frac{1200}{13} = 70,58.$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{50}{0,8} = 62,5.$$

Виходячи з розрахунків вище переважаючим показником є показник точності геометричного розміру.

Розраховуємо кількість переходів за формулою:

$$K_p = 2 \lg \varepsilon_{Td}. \quad (1.13)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.13):

$$K_p = 2 \lg 70,58 = 3,69.$$

Приймаємо $K_p = 4$.

Розраховуємо різницю показників якостей та розподіляємо їх за законом прогресивного зменшення за формулою:

$$\Delta Td = IT_{заг} - IT_{дет} . \quad (1.14)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.14):

$$\Delta Td = IT16 - k6 = 10 = 4 + 3 + 2 + 1.$$

Встановлюємо послідовність показників точності та якості за точністю геометричного розміру за рівнянням:

$$ППТК_{Td} = IT16 \rightarrow (T.O.) \rightarrow h12 \rightarrow h9 \rightarrow h7 \rightarrow k6.$$

Встановлюємо послідовність показників точності та якості за точністю шорсткістю поверхні за рівнянням:

$$ППТК_{Ra} = Ra50 \rightarrow (T.O.) \rightarrow Ra 12,5 \rightarrow Ra 6,3 \rightarrow Ra 3,2 \rightarrow Ra 0,8.$$

Виконуємо розробку МОП для поверхні 1.

Вихідні данні:

Поверхня – зовнішня циліндрична;

Параметри заготовки: $\varnothing 36 \begin{matrix} +0,7 \\ -0,5 \end{matrix} R_a 50$;

Параметри деталі $\varnothing 32f7 \begin{matrix} -0,025 \\ -0,050 \end{matrix} R_a 1,6$;

Виконуємо розрахунки за формулами (1.11) та (1.12):

$$\varepsilon_{Td} = \frac{1200}{25} = 48.$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{50}{1,6} = 31,25.$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.13):

$$K_p = 2 \lg 48 = 3,36.$$

Приймаємо $K_p = 3$.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.14):

$$\Delta Td = IT16 - f7 = 9 = 5 + 3 + 1.$$

Встановлюємо послідовність показників точності та якості за точністю геометричного розміру за рівнянням:

$$ППТК_{Td} = IT16 \rightarrow (T.O.) \rightarrow h11 \rightarrow h8 \rightarrow f7.$$

Встановлюємо послідовність показників точності та якості за точністю шорсткістю поверхні за рівнянням:

$$ППТК_{Ra} = Ra50 \rightarrow (T.O.) \rightarrow Ra 12,5 \rightarrow Ra 3,2 \rightarrow Ra 1,6.$$

Підсумки розрахунків заносимо в табл. 1.7

Таблиця 1.7 – Підсумки розрахунків маршруту обробки поверхонь

Показники точності та якості заготовки і деталі	Показники	Уточнення	Пер.		Різниця показників точності та якості	МОП		Допуски		Уточнення	
			Розр.	Прийн.		i	Метод	Td	Ra	Td	Ra
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Зовнішня циліндрична Заготовка: $\phi 26IT16$ Ra50 Деталь: $\phi 22k6$ Ra0,8	Td Ra ↗	70,5 62,5 -	-	4	$\Delta Td = IT_{заг} - IT_{дет}$ $= IT16 - k6 = 10$ $= 4 + 3 + 2 + 1$ $ППТК_{Td} = IT16$ $(T.O.) \rightarrow h12$ $\rightarrow h9 \rightarrow h7 \rightarrow k6$ $ППТК_{Ra} = Ra50$ $\rightarrow (T.O.) \rightarrow Ra12,5$ $\rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2$ $\rightarrow Ra0,8$	1	Штапування	1,2	50	-	-
						2	Т.О.	-	-	-	-
						3	Чернове точіння	0,21	12,5	5,71	4
						4	Напівчистове Точіння	0,052	6,3	4,03	2,05
						5	Чистове точіння	0,021	3,2	2,47	1,96
						6	Шліфування однократне	0,013	0,8	1,61	1,73

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. Зовнішня циліндрична Заготовка: $\phi 36IT16$ Ra50 Деталь: $\phi 32f7 Ra1,6$	Td Ra \nearrow	48 31,2 -	-	3	$\Delta Td = IT_{заг} - IT_{дет}$ $= IT16 - f7$ $= 9 = 5 + 3 + 1$ $ППТК_{Td} = IT16$ (Т.О.) $\rightarrow h11$ $\rightarrow h8 \rightarrow f7$ $ППТК_{Ra} = Ra50$ (Т.О.) $\rightarrow Ra12,5$ $Ra3,2 \rightarrow Ra1,6$	1 Штампування 2 Т.О. 3 Чернове точіння 4 Чистове точіння 5 Шліфування однократне	1,2 - 0,16 0,039 0,025	50 - 12,5 3,2 1,6	- - 7,5 4,1 1,56	- - 4 3,9 2	
3. Зовнішня циліндрична Заготовка: $\phi 34IT16$ Ra50 Деталь: $\phi 30e8 Ra0,4$	Td Ra \nearrow	36,3 125 -	-	4	$\Delta Td = IT_{заг} - IT_{дет} = IT16 - e8$ $e8 = 8 = 3 + 2 + 2 + 1$ $ППТК_{Td} = IT16 \rightarrow$ (Т.О.) $\rightarrow h13 \rightarrow h11$ $\rightarrow h9 \rightarrow e8$ $ППТК_{Ra} = Ra50 \rightarrow$ $\rightarrow Ra12,5 \rightarrow Ra6,3$ $\rightarrow Ra3,2 \rightarrow Ra0,8$ + полирование до Ra0.4	1 Штампування 2 Т.О. 3 Чернове точіння 4 Напівчистове точінне 5 Чистове точіння 6 Шліфування однократне + БУФО	1,2 - 0,33 0,13 0,062 0,013	50 - 12,5 6,3 3,2 0,8 0,4	- - 3,63 2,53 2,09 1,69	- - 4 2,05 1,96 1,73	
4. Зовнішня циліндрична Заготовка: $\phi 23IT16 Ra50$ Деталь: $\phi 17 \pm 0,035$ Ra 0,8	Td Ra \nearrow	17,1 15,6 -	-	4	$\Delta Td = IT_{заг} - IT_{дет}$ $= IT16 - js10 =$ $6 = 2 + 2 + 1 + 1$ $ППТК_{Td} = IT16$ \rightarrow (Т.О.) \rightarrow $h14 \rightarrow h12 \rightarrow$ $h11 \rightarrow js10$ $ППТК_{Ra} = Ra50$ (Т.О.) $\rightarrow Ra12,5$ $\rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2$ $\rightarrow Ra0,8$	1 Штампування 2 Т.О. 3 Чернове точіння 4 Напівчистове точінне 5 Чистове точіння 6 Шліфування однократне	1,2 - 0,43 0,18 0,11 0,07	50 - 12,5 6,3 3,2 0,8	- - 2,79 2,38 1,63 1,57	- - 4 2,05 1,96 1,73	

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5. Зовнішня торцюва Заготовка: 113Т14 Ra50 Деталь: 107js12 Ra 3,2	Td Ra ↗	3,42 15,6 -	-	3	$\Delta Td = IT_{заг} - IT_{дет}$ $= IT16 - js12$ $= 4 = 2 + 1 + 1$ $ППТК_{Td} = IT16$ (Т.О.) → h14 → h13 → js12 $ППТК_{Ra} = Ra50$ (Т.О.) → Ra12.5 → Ra6,3 → Ra3,2	1 Штампування 2 Т.О. 3 Чернове точіння 4 Напівчистове точінне 5 Чистове точіння	1,2 - 0,87 0,54 0,35	50 - 12,5 6,3 3,2	- - 1,61 1,54 1,37	- - 4 2,05 1,96	
6. Зовнішня циліндрична Заготовка: φ31Т16 Ra50 Деталь: φ25 ^{+0,056} _{+0,035} Ra 0,8	Td Ra ↗	17,1 15,6 -	-	4	$\Delta Td = IT_{заг} - IT_{дет}$ $= IT16 - s7 =$ $9 = 3 + 3 + 2 + 1$ $ППТК_{Td} = IT16$ → (Т.О.) → h13 → h10 → h8 → s7 $ППТК_{Ra} = Ra50$ (Т.О.) → Ra12,5 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra0,8	1 Штампування 2 Т.О. 3 Чернове точіння 4 Напівчистове точінне 5 Чистове точіння 6 Шліфування однократне	1,2 - 0,33 0,084 0,033 0,021	50 - 12,5 6,3 3,2 0,8	- - 3,92 3,63 2,54 1,57	- - 4 2,05 1,96 1,73	
7. Зовнішня циліндрична Заготовка: 12Т16 Ra50 Деталь: б _{-0,12} Ra 3,2	Td Ra ↗	10 15,6 -	-	3	$\Delta Td = IT_{заг} - IT_{дет}$ $= IT16 - h12$ $= 4 = 2 + 1 + 1$ $ППТК_{Td} = IT16$ (Т.О.) → h14 → h13 → h12 $ППТК_{Ra} = Ra50$ (Т.О.) → Ra12.5 → Ra6,3 → Ra3,2	1 Штампування 2 Т.О. 3 Чернове точіння 4 Напівчистове точінне 5 Чистове точіння	1,2 - 0,3 0,18 0,12	50 - 12,5 6,3 3,2	- - 4 1,66 1,5	- - 4 2,05 1,96	

1.4.3. Маршрут виготовлення деталі

Складаємо загальну етапну схему виготовлення деталі – етапний маршрут виготовлення деталі:

1 етап – отримання заготовки (штампування);

2 етап – механічна обробка;

– токарная обробка;

– фрезерна обробка;

– шлифувальна обробка.

3 етап – миюча обробка, контроль.

Детальний маршрут виготовлення деталі знаходиться на окремому кресленні формату А1.

1.5 Розрахунки припусків і технологічних розмірів

Призначаємо припуски та розраховуємо технологічні розміри для поверхні $\varnothing 22k6 \begin{smallmatrix} +0.015 \\ +0.002 \end{smallmatrix}$ $L = 40$ мм зовнішня циліндрична. Розрахунок виконуємо методом РАМОП.

Вихідні данні:

$$ППТК_{Td} = IT16 \rightarrow (T.O.) \rightarrow h12 \rightarrow h9 \rightarrow h7 \rightarrow k6.$$

$$ППТК_{Ra} = Ra50 \rightarrow (T.O.) \rightarrow Ra 12,5 \rightarrow Ra 6,3 \rightarrow Ra 3,2 \rightarrow Ra 0,8.$$

$$Td_{1заг} = 1,2; Td_{3заг} = 0,21; Td_{4заг} = 0,052; Td_{5заг} = 0,021; Td_{6дет} = 0,013$$

Визначаємо показники заготовки в залежності від метода отримання [1, т. 3.8, с. 34]:

$$R_z = 160 \text{ мкм}, h = 200 \text{ мкм}.$$

де R_z – шорсткість поверхні, мкм;

h – глибина поверхневого шару, мкм.

Розраховуємо відхилення при обробці за формулою

$$\rho = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{cm}^2}, \quad (1.15)$$

де ρ_{k0} – кривизна поковок типу вал на 1мм, мкм; [2, т. 16, с. 186]

ρ_{cm0} – відхилення від співвісності на 1мм, мм [2, т. 18, с. 187].

Визначаємо кривизну поковки на довжину L за формулою:

$$\rho_k = \rho_{k0} \cdot L. \quad (1.16)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.16) :

$$\rho_k = 4 \cdot 40 = 160 \text{ мкм/мм.}$$

Визначаємо відхилення від співвісності на довжину L за формулою (мм):

$$\rho_{cm} = \rho_{cm0} \cdot L. \quad (1.17)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.17):

$$\rho_{cm} = 0,5 \cdot 40 = 20 \text{ мм.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.15):

$$\rho = \sqrt{120^2 + 20^2} = 122.$$

Розраховуємо показники за переходами за формулою (мкм)

$$\rho_i = \rho_{i-1} \cdot k. \quad (1.18)$$

де k – коефіцієнт уточнення [2, т. 29, с. 190]

Виконуємо розрахунки за формулою (1.18):

$$\rho_3 = 122 \cdot 0,06 = 7,32 \approx 7.$$

$$\rho_4 = 7 \cdot 0,05 = 0,35 \approx 0,35.$$

$$\rho_5 = 0,35 \cdot 0,04 = 0,014 \approx 0,01.$$

$$\rho_6 = 0,01 \cdot 0,03 = 0,0003 \approx 0.$$

Розрахуємо мінімальний припуск за формулою (мкм):

$$2Z_{\min} = 2 \cdot (R_z + h_i + \sqrt{\rho_i^2 + \varepsilon_{i-1}^2}), \quad (1.19)$$

де R_z – шорсткість поверхні в залежності від виду обробки, мкм;
 h_i – висота дефектного шару в залежності від виду обробки, мм;
 ε – похибка закріплення [2, т. 13, с. 42]

Виконуємо розрахунки за формулою (1.19):

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot (80 + 100 + \sqrt{7^2 + 200^2}) = 760 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{4\min} = 2 \cdot (50 + 60 + \sqrt{0,35^2 + 80^2}) = 380 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{5\min} = 2 \cdot (25 + 35 + \sqrt{0,01^2 + 50^2}) = 220 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{6\min} = 2 \cdot (20 + 30 + \sqrt{0^2 + 20^2}) = 140 \text{ мкм.}$$

Розрахуємо номінальний припуск за формулами (мм):

$$2Z_3^H = 2Z_{3\min} + ei. \quad (1.20)$$

$$2Z_i^H = 2Z_i + Td_{i-1}. \quad (1.21)$$

Виконуємо розрахунки за формулами (1.20) та (1.21):

$$2Z_3^H = 0,76 + 0,5 = 1,26 \text{ мм.}$$

$$2Z_4^H = 0,38 + 0,21 = 0,59 \text{ мм.}$$

$$2Z_5^H = 0,22 + 0,052 = 0,272 \text{ мм.}$$

$$2Z_6^H = 0,14 + 0,021 = 0,161 \text{ мм.}$$

Розрахуємо номінальний діаметр за формулою (мм):

$$d_i^H = d_{i+1}^H + 2Z_{i+1}^H. \quad (1.22)$$

Виконуємо розрахунок за формулою (1.22):

$$d_6^H = 22 \text{ мм.}$$

$$d_5^H = 22 + 0,161 = 22,161 \text{ мм.}$$

$$d_4^H = 22,161 + 0,272 = 22,433 \text{ мм.}$$

$$d_3^H = 22,433 + 0,59 = 23,023 \text{ мм.}$$

$$d_1^H = 23,023 + 1,26 = 24,283 \text{ мм.}$$

Розрахуємо максимальний припуск за формулами (мм):

$$2Z_{3\max} = 2Z_{3\min} + Td_{3a2} + Td_3. \quad (1.23)$$

$$2Z_{i\max} = 2Z_{i\min} + Td_{i-1} + Td_1. \quad (1.24)$$

Виконуємо розрахунки за формулами (1.23) та (1.24):

$$2Z_{3\max} = 0,76 + 1,2 + 0,21 = 2,17 \text{ мм.}$$

$$2Z_{4\max} = 0,38 + 0,21 + 0,052 = 0,642 \text{ мм.}$$

$$2Z_{5\max} = 0,22 + 0,052 + 0,021 = 0,293 \text{ мм.}$$

$$2Z_{6\max} = 0,14 + 0,021 + 0,013 = 0,174 \text{ мм.}$$

Розрахуємо загальний номінальний припуск за формулою (мм):

$$2Z_0^H = 2Z_3^H + 2Z_4^H + 2Z_5^H + 2Z_6^H . \quad (1.25)$$

Виконуємо розрахунок за формулою (1.25):

$$2Z_0^H = 1,26 + 0,59 + 0,272 = 2,283 \text{ мм.}$$

Виконуємо перевірку контрольним правилам за формулами (мм):

$$2Z_0^H = d_{заг}^H - d_{дем}^H . \quad (1.26)$$

$$2Z_{3\max} - 2Z_{3\min} = Td_{заг} + Td_3 . \quad (1.27)$$

$$2Z_{i\max} - 2Z_{i\min} = Td_{i-1} + Td_i . \quad (1.28)$$

Виконуємо перевірочний розрахунок за формулами (1.26) (1.27) (1.28):

$$2,283 = 24,283 - 22 \text{ мм.}$$

$$2,17 - 0,76 = 1,2 + 0,21 \text{ мм.}$$

$$0,642 - 0,38 = 0,21 + 0,052 \text{ мм.}$$

$$0,293 - 0,22 = 0,052 + 0,021 \text{ мм.}$$

$$0,174 - 0,14 = 0,021 + 0,013 \text{ мм.}$$

Отже, контрольне правило виконано. У зв'язку з цим призначаємо такі розміри:

– заготовка	$\varnothing 24_{-0,5}^{+0,7} \text{ мм.}$
– точіння чорнове	$\varnothing 23,023_{-0,21} \text{ мм.}$
– точіння напівчистове	$\varnothing 22,43_{-0,052} \text{ мм.}$
– точіння чистове	$\varnothing 22,16_{-0,021} \text{ мм.}$

– шліфування чорнове $\text{Ø}22\text{k}6\left(\begin{smallmatrix} +0.015 \\ +0.002 \end{smallmatrix}\right)\text{мм.}$

Призначаємо припуски та розраховуємо технологічні розміри для поверхні $\text{Ø}32\text{f}7\left(\begin{smallmatrix} -0.025 \\ -0.050 \end{smallmatrix}\right)$ зовнішня циліндрична. Розрахунок виконуємо табличним методом.

Вихідні данні:

$$\text{ПШТК}Td = \text{IT}16 \rightarrow (T.O.) \rightarrow h11 \rightarrow h8 \rightarrow f7.$$

$$\text{ПШТК}Ra = Ra50 \rightarrow (T.O.) \rightarrow Ra 12.5 \rightarrow Ra 3.2 \rightarrow Ra 1.6.$$

$$Td_{1\text{заг}} = 1,2; Td_{3\text{заг}} = 0,16; Td_{4\text{заг}} = 0,039; Td_{5\text{дем}} = 0,025$$

Призначаємо мінімальні припуски на механічну обробку за [1, т. 3.2 с. 52]:

$$\text{– для чорнового точіння } 2Z_{3\text{min}} = 2 \cdot 1,7 = 3,4 \text{ мм};$$

$$\text{– для чистового точіння } 2Z_{4\text{min}} = 2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ мм};$$

$$\text{– для чорнового шліфування } 2Z_{5\text{min}} = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ мм.}$$

Виконуємо розрахунки за формулами (1.20) (1.21):

$$2Z_3^H = 2 + 0,5 = 2,5 \text{ мм.}$$

$$2Z_4^H = 0,5 + 0,16 = 0,76 \text{ мм.}$$

$$2Z_5^H = 0,2 + 0,039 + 0,025 = 0,264 \text{ мм.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.22):

$$d_5^H = 32 \text{ мм.}$$

$$d_4^H = 32 + 0,264 = 32,264 \text{ мм.}$$

$$d_3^H = 32,264 + 0,76 = 33,024 \text{ мм.}$$

$$d_1^H = 33,024 + 2,5 = 35,524 \text{ мм.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.24):

$$2Z_3^{Max} = 3,4 + 1,2 + 0,16 = 4,76 \text{ мм.}$$

$$2Z_4^{Max} = 0,5 + 0,16 + 0,039 = 0,699 \text{ мм.}$$

$$2Z_5^{Max} = 0,2 + 0,039 + 0,025 = 0,264 \text{ мм.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.25):

$$2Z_0^H = 2,5 + 0,76 + 0,0264 = 3,524 \text{ мм}$$

Виконуємо перевірочний розрахунок за формулами (1.26) (1.28):

$$3,524 = 35,524 - 32.$$

$$4,76 - 3,4 = 1,2 + 0,16.$$

$$0,699 - 0,5 = 0,16 + 0,039.$$

$$0,264 - 0,2 = 0,039 + 0,025.$$

Отже, контрольне правило виконано. У зв'язку з цим призначаємо такі розміри:

– заготовка	$\text{Ø } 35,5_{-0,5}^{+0,7} \text{ мм};$
– точіння чорнове	$\text{Ø } 33,024_{-0,16} \text{ мм};$
– точіння чистове	$\text{Ø } 32,264_{-0,039} \text{ мм};$
– шліфування чорнове	$\text{Ø } 32f7_{-0,050}^{(-0,025)} \text{ мм.}$

1.6 Розрахунок режимів різання

Проведемо розрахунок режимів різання для токарної операції. Вихідні данні зображені на ескізі операції рис 1.7.

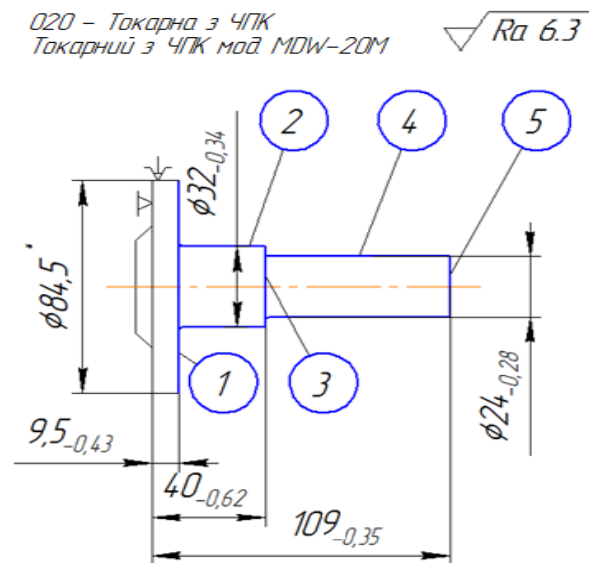


Рисунок 1.7 – Ескіз токарної операції

Визначаємо глибину різання за формулою (мм):

$$t = \frac{d_3 - d_0}{2}, \quad (1.29)$$

де d_3 – діаметр заготовки, мм;

d_0 – діаметр деталі, мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.29):

$$t = \frac{34 - 32}{2} = 1 \text{ мм.}$$

Визначаємо розрахункову подачу за формулою (мм/об):

$$S_p = S \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (1.30)$$

де S – подача в мм/об;

K_1 – коефіцієнт, що залежить від оброблююмого матеріалу ;

K_2 – коефіцієнт, що залежить від виду обробки.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.30):

$$S_{\text{расч}} = 0,41 \cdot 1 \cdot 0,74 = 0,3034 \text{ мм/об.}$$

Визначаємо швидкість різання за формулою (м/хв):

$$V_o = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot K_{10}, \quad (1.31)$$

де $V_{табл}$ – швидкість різання залежно від інструментального матеріалу;

K_1 – робота з охолодженням;

K_2 – коефіцієнт, що враховує кут різця в плані;

K_3 – коефіцієнт, що враховує стан поверхні що оброблюються;

K_4 – коефіцієнт, що враховує відношення діаметрів;

K_5 – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини інструмента;

K_6 – коефіцієнт, що враховує твердість матеріалу;

K_7 – коефіцієнт, що враховує глибину різання;

K_8 – коефіцієнт, що враховує подачу інструмента;

K_9 – коефіцієнт, що враховує стійкість інструмента;

K_{10} – коефіцієнт, що враховує вид обробки.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.31):

$$V_{расч} = 96 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1,10 \cdot 0,78 \cdot 1,14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,57 = 32,11 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертів шпинделя верстата за формулою (об/хв):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}. \quad (1.32)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.32):

$$n_{расч} = \frac{1000 \cdot 32,11}{3,14 \cdot 32} = 319,56 \text{ об/хв}$$

Скориговане число обертів шпинделя верстата відповідно до паспорту верстата: $n_{см} = 315$ об/хв;

Визначаємо фактичну швидкість різання за формулою (м/хв):

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{см}}{1000}. \quad (1.33)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.33):

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 32 \cdot 315}{1000} = 31,65 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо силу різання за формулою, (Н):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (1.34)$$

де $C_p = 300$; $x = 1$; $y = 0,75$; $n = -0,5$. [3, т. 22 с. 273]

Визначаємо поправочний коефіцієнт за формулою:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}. \quad (1.35)$$

де K_{mp} – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу;

$K_{\phi p}$ – коефіцієнт, який враховує головний кут в плані ϕ [3, т. 27 с. 275].

$K_{\gamma p}$ – коефіцієнт, який враховує передній кут [4, т. 27 с. 275].

$K_{\lambda p}$ – коефіцієнт, який враховує кут нахилу головного леза λ [3, т. 27 с. 275].

K_{rp} – коефіцієнт, який враховує радіус інструмента [3, т. 27 с. 275].

Коефіцієнт K_{mp} для сталі визначаємо за формулою:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_e}{750} \right)^n. \quad (1.36)$$

де $\sigma_e = 710$ Мпа для сталі 30ХГСА;

n_v – показник, що враховує вплив якості матеріалу [3, т. 4 с. 264].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.36):

$$K_{mp} = \left(\frac{710}{750} \right)^{0,3} = 0,98.$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.35):

$$K_p = 0,98 \cdot 1,08 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,93 = 0,984.$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.34):

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1^1 \cdot 0.3^{0.75} \cdot 31,65^{-0.5} \cdot 0,984 = 212,7 \text{ Н.}$$

Визначаємо потужність, яка витрачається на різання за формулою, (кВт):

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}. \quad (1.37)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.37):

$$N = \frac{212,7 \cdot 31,65}{1020 \cdot 60} = 0,11 \text{ кВт}$$

Визначаємо потужність на шпинделі за формулою (кВт):

$$N_{um} = N_{cm} \cdot \eta, \quad (1.38)$$

де N_{cm} – потужність верстата, кВт;
 η – ККД верстата.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.38):

$$N_{um} = 16 \cdot 0,8 = 12,8 \text{ кВт}$$

$N_p \leq N_{um}$, отже обрані режими різання задовільняють умові виникнення різання.

Визначаємо основний час за формулою (хв):

$$t_0 = \frac{L_{p.x}}{n_i \cdot S_i} \cdot i, \quad (1.39)$$

де $L_{p.x}$ – довжина робочого ходу, мм;
 i – кількість проходів, шт.

Визначаємо довжину робочого ходу за формулою, (мм):

$$L_{p.x} = L_o + L_{ep}, \quad (1.40)$$

де L_{ep} – довжина врізання, мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.40):

$$L_{p.x} = 95 + 2 = 97 \text{ мм.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.39):

$$t_0 = \frac{95,5 + 3}{315 \cdot 0,3} \cdot 1 = 1,05 \text{ хв.}$$

Проведемо розрахунок режимів різання для свердлильної операції.
Вихідні данні зображені на ескізі операції рис 1.8

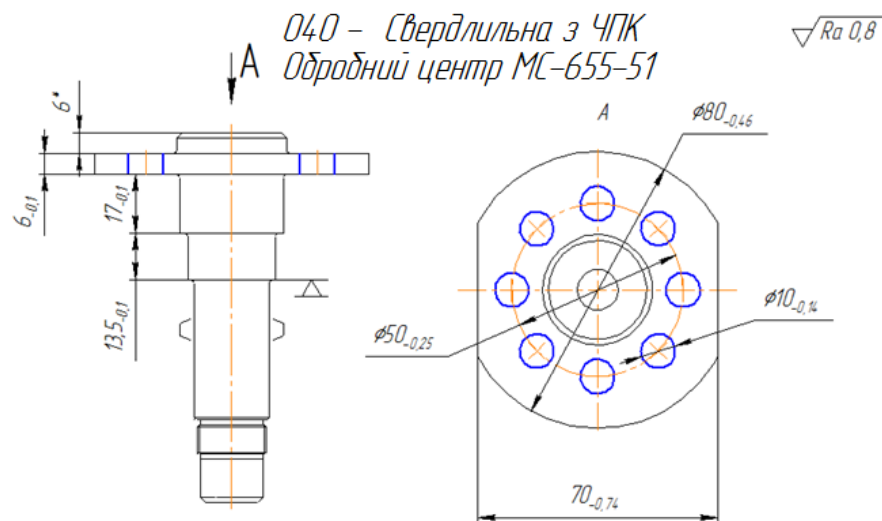


Рисунок 1.8 – Ескіз свердлильної операції

Визначаємо глибину різання за формулою (мм):

$$t = \frac{d_{ce}}{2}, \quad (1.41)$$

де d_{ce} – діаметр отвору, який свердлиється, мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.41):

$$t = \frac{10}{2} = 5 \text{ мм.}$$

Визначаємо розрахункову подачу за формулою (мм/об):

$$S_p = S \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (1.42)$$

де S – подача в мм/об [3];

K_1 – коефіцієнт, що залежить від довжини свердління ;

K_2 – коефіцієнт, що залежить від типу отвору.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.42):

$$S_{расч} = 0,25 \cdot 1 \cdot 1 = 0,25 \text{ мм/об.}$$

Визначаємо швидкість різання за формулою (м/хв):

$$V_o = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8, \quad (1.43)$$

де $V_{табл}$ – швидкість різання в залежності від інструментального матеріалу;

K_1 – коефіцієнт, що враховує твердість матеріалу;

K_2 – коефіцієнт, що враховує стійкість інструмента;

K_3 – коефіцієнт, що враховує відношення фактичної стійкості до нормативної

K_4 – коефіцієнт, що враховує довжину свердління;

K_5 – коефіцієнт, що враховує подачу ;

K_6 – коефіцієнт, що враховує діаметр свердлення;

K_7 – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини інструмента;

K_8 – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.43):

$$V_{расч} = 40,23 \cdot 0,86 \cdot 1,12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,63 \cdot 0,9 \cdot 1 = 21,97 \text{ м/хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.32):

$$n_p = \frac{1000 \cdot 21,97}{3,14 \cdot 10} = 699,081 \text{ об/хв.}$$

Скориговане число обертів шпинделя верстата відповідно до паспорту верстата: $n_{cm} = 630$ об/хв

Виконуємо розрахунки за формулою (1.33):

$$V = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 630}{1000} = 19,78 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо крутний момент за формулою, (Н·м):

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_{мр}, \quad (1.44)$$

де $C_M = 0.0345$; $q = 2$; $y = 0.8$ [3 т. 32 с. 281]

Коефіцієнт $K_{мр}$ для сталі визначаємо за формулою (1.36):

Виконуємо розрахунки за формулою (1.44):

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 10^2 \cdot 0,25^{0,8} \cdot 0,98 = 11,1 \text{ Н·м.}$$

Визначаємо потужність, яка витрачається на різання за формулою, (кВт):

$$N_p = \frac{M_{кр} \cdot n_{\phi}}{9750}, \quad (1.45)$$

де $M_{кр}$ – значення крутного моменту, яке витрачається на процес різання.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.45):

$$N_p = \frac{11,1 \cdot 630}{9750} = 0,71 \text{ кВт.}$$

Визначаємо потужність на шпинделі за формулою (1.38)

$N_p \leq N_{lim}$, отже обрані режими різання задовільняють умові виникнення різання.

Визначаємо довжину робочого ходу за формулою, (мм):

$$L_{p.x} = L_o + L_{вр} + L_{пер}, \quad (1.46)$$

де $L_{вр}$ – довжина врізання, мм

$L_{пер}$ – довжина перебігу, мм

Виконуємо розрахунки за формулою (1.46):

$$L_{p.x} = 6 + 2 + 2 = 10 \text{ мм.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.39):

$$t = \frac{6 + 2 + 2}{630 \cdot 0,25} \cdot 8 = 0,5 \text{ хв.}$$

Проведемо розрахунок режимів різання для фрезерної операції. Вихідні данні зображені на ескізі операції рис 1.9.

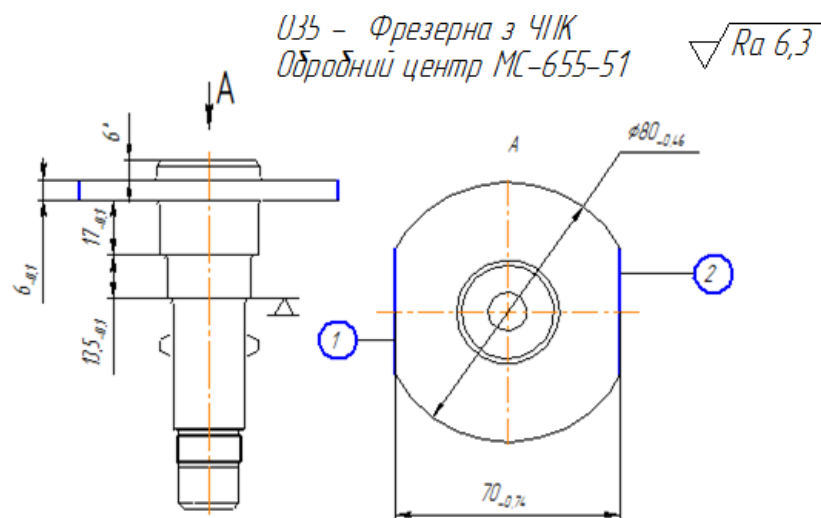


Рисунок 1.9 – Ескіз фрезерної операції

Визначаємо глибину різання за формулою (1.29):

$$t = \frac{80 - 70}{2} = 5 \text{ мм.}$$

Призначаємо подачу за довідковою літературою [3, т. 36, с. 285]:

$$S_z = 0,1 \text{ мм/зуб.}$$

Призначаємо стійкість фрези за довідковою літературою [3, т. 40, с. 290]:

$$T = 120 \text{ хв.}$$

Визначаємо швидкість різання за формулою [3, с. 287]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v, \quad (1.47)$$

де D – діаметр валу, мм;
 T – період стійкості фрези;
 t – глибина фрезерування, мм;
 B – ширина фрезерування, мм;
 Z – кількість зубів фрези, шт.

Значення коефіцієнтів та показників ступені: $C_v = 46,7$; $q = 0,45$; $x = 0,05$; $y = 0,5$; $u = 0,1$; $p = 0,1$; $m = 0,33$. [3, т. 39, с. 287]

Коефіцієнт K_{Mv} для сталі визначаємо за формулою:

$$K_{Mv} = Kr \cdot \left(\frac{750}{\sigma_v} \right)^{nv}, \quad (1.48)$$

де $\sigma_v = 710$ Мпа для сталі 30ХГСА;

Коефіцієнт K_v визначаємо за формулою:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Iv} \cdot K_{Iv}, \quad (1.49)$$

де K_{Mv} – коефіцієнт для матеріалу інструменту [3, т.2 с.262] ;

K_{Iv} – показник, що враховує вплив стану поверхні заготовки [3, т. 5, с. 263] ;

K_{Mv} – показник, що враховує вплив матеріалу інструменту [3, т. 6, с. 263].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.48):

$$K_{Mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{710} \right)^{-0,9} = 0,95.$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.49):

$$K_v = 0,95 \cdot 1 \cdot 0,65 = 0,62.$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.47):

$$V = \frac{46,7 \cdot 35^{0,45}}{120^{0,33} \cdot 5^{0,05} \cdot 0,1^{0,5} \cdot 6^{0,1} \cdot 5^{0,1}} \cdot 0,62 = 61,34 \text{ м/хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.32):

$$n_{розр} = \frac{1000 \cdot 61,34}{3,14 \cdot 35} = 558,14 \text{ об/хв.}$$

Скориговане число обертів шпинделя верстата відповідно до паспорту верстата: $n_{ст} = 630 \text{ об/хв}$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.33):

$$V = \frac{3,14 \cdot 35 \cdot 630}{1000} = 69,27 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо силу різання за формулою, (H):

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_{z\phi}^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n_\phi^w} \cdot K_{mp} \quad (1.50)$$

де $S_{z\phi}$ – фактична подача на зуб, мм/зуб;

t – глибина фрезерування, мм.;

B – ширина фрезерування, мм.;

Z – кількість зубів фрези, шт.;

D – діаметр валу, мм.

Значення коефіцієнтів та показників ступені: $C_p = 825$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1$; $q = 1,1$; $w = 0$ [3, т. 41, с. 291].

Коефіцієнт K_{mp} для сталі визначаємо за формулою (1.36).

Виконуємо розрахунки за формулою (1.50):

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 5^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 6^1 \cdot 5}{35^{1,1} \cdot 630^0} \cdot 0,98 = 305,3 \text{ Н.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.37):

$$N = \frac{305,3 \cdot 69,35}{1020 \cdot 60} = 0,35 \text{ кВт.}$$

Визначаємо потужність на шпинделі за формулою (1.38).

Виконуємо розрахунки за формулою (1.46):

$$L_{p.x} = 50 + 2 + 2 = 54 \text{ мм.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.39):

$$t = \frac{50 + 2 + 2}{630 \cdot 0,1} \cdot 2 = 0,85 \text{ хв.}$$

Проведемо розрахунок режимів різання для шліфувальної операції.
Вихідні данні зображені на ескізі операції рис 1.10

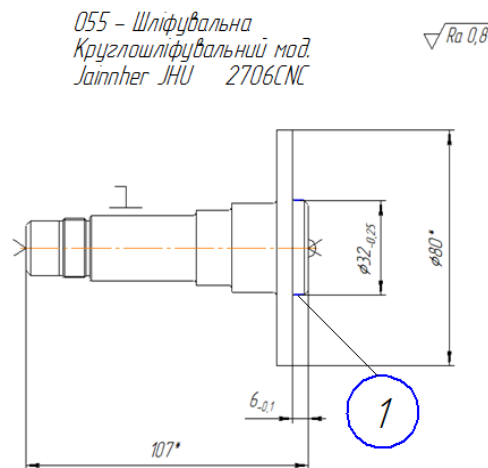


Рисунок 1.10 – Ескіз шліфувальної операції

Виконуємо розрахунки за формулою (1.29):

$$t = \frac{25,5 - 25,008}{2} = 0,246 \text{ мм.}$$

Призначаємо швидкість різання за довідковою літературою [4, с. 343]:

$$V = 20 \text{ мм/хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.32):

$$n_d = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 25,008} = 254,7 \text{ об/хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.29):

$$V_{кр} = \frac{3,14 \cdot 405 \cdot 1603}{1000 \cdot 60} = 34 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо розрахункову подачу за формулою (мм/об):

$$S_{t/об} = S_{tT} \cdot K_{St}, \quad (1.51)$$

де S_{tT} – табличне значення радіальної подачі на хід, мм [4, т. 162, с. 345]

Визначаємо загальний поправочний коефіцієнт за формулою:

$$K_{St} = K_M \cdot K_R \cdot K_D \cdot K_{vk} \cdot K_T \cdot K_{tT} \cdot K_h, \quad (1.52)$$

де K_M – коефіцієнт, який враховує матеріал, який оброблюють; [4, т.165 с.348]

K_R – коефіцієнт, який враховує радіус галтелі деталі [4, т. 165, с. 348];

K_D – коефіцієнт, який враховує діаметр круга [4, т. 165, с. 348];

K_{vk} – коефіцієнт, який враховує швидкість круга [4, т. 165, с. 348];

K_T – коефіцієнт, який враховує стійкість круга [4, т. 165, с. 348];

K_{tT} – коефіцієнт, який враховує точність обробки [4, т. 165, с. 348];

K_h – коефіцієнт, який враховує припуск на обробку [4, т.165 с.348].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.52):

$$K_{St} = 1 \cdot 0,67 \cdot 1 \cdot 0,38 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1,08 = 0,2.$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.51):

$$S_{t/об} = 0,0225 \cdot 0,2 = 0,004 \text{ мм/об.}$$

Визначаємо потужність, яка витрачається на різання за формулою, (кВт):

$$N = N_m \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (1.53)$$

де N_m – таблична потужність різання при шліфуванні, Н [6, к. 8, с. 630];

K_1 – коефіцієнт, який залежить від твердості та ширини круга [6, к. 8, с. 630];

K_2 – коефіцієнт, який залежить діаметру шліфування [6, к. 8, с. 630].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.53):

$$N = 2,35 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 1,7 \text{ кВт.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.38):

$$N_{um} = 3,75 \cdot 0,8 = 3 \text{ кВт.}$$

Визначаємо основний час за формулою (хв):

$$t_0 = \frac{L \cdot h \cdot K}{2 \cdot n_{\phi} \cdot S \cdot B \cdot S_{t/об}}, \quad (1.54)$$

де L – довжина обробки, мм;

h – припуск на діаметр, який дорівнює глибині обробці, мм;

K – коефіцієнт, який враховує час на створення початкового натягу в системі.

Визначаємо довжину обробки за формулою, (мм):

$$L = L_0 - \frac{B_{\kappa}}{2}, \quad (1.55)$$

де B_{κ} – ширина шліфувального круга, мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.55):

$$L = 78 - \frac{25}{2} = 65,5 \text{ мм.}$$

Визначаємо поздовжню подачу за формулою, (мм/об)

$$B = 0,5 \cdot B_{\kappa}. \quad (1.56)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.56):

$$B = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ мм/об.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.54):

$$t_0 = \frac{65,5 \cdot 0,246 \cdot 1}{2 \cdot 250 \cdot 12,5 \cdot 0,004} = 0,63 \text{ хв.}$$

1.7 Технічне нормування операції

Виконуємо розрахунок технічної норми часу для токарної операції .

Визначаємо норму допоміжного часу за формулою, (хв):

$$t_{\text{в}} = (t_{\text{у.с.}} + t_{\text{бн/о}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{контр}}) \cdot K, \quad (1.57)$$

де $t_{\text{у.с.}}$ – допоміжний час на зняття та встановлення деталей, хв [5, к. 51, с. 138];

$t_{\text{бн/о}}$ – час швидкого підводу-відводу інструменту, хв;

$t_{\text{пер}}$ – час, який пов'язаний з переходом, хв;

$t_{\text{контр}}$ – час, який пов'язаний з контрольними промірами, хв;

K – коефіцієнт, який залежить від типу виробництва.

Визначаємо час, який пов'язаний з переходом за формулою, (хв) :

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{вкл/викл}} + t_{\text{змс}} + t_{\text{змп}} + t_{\text{ц}} + t_{\text{уст.і}} + t_{\text{сож}}, \quad (1.58)$$

де $t_{\text{вкл/викл}}$ – час, який пов'язаний зі включенням та виключенням верстата

$t_{\text{змс}}$ – час, який пов'язаний зі зміною подачі [5, к. 61, с. 156];

$t_{\text{змп}}$ – час, який пов'язаний зі зміною числа обертів [5, к. 61, с. 156];

$t_{\text{ц}}$ – час, який пов'язаний зі встановленням огороження [5, к. 61, с. 156];

$t_{\text{уст.і}}$ – час, який пов'язаний зі встановленням інструменту [5, к. 61, с. 156];

$t_{\text{ЗОР}}$ – час, який пов'язаний зі змащуванням деталі [5, к. 61, с. 156].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.58):

$$t_{\text{пер}} = 0,01 + 0,03 + 0,03 + 0,05 + 0,7 + 0,03 = 0,85 \text{ хв.}$$

Визначаємо час, який пов'язаний з контрольними промірами за формулою, (хв):

$$t_{\text{контр}} = t_{\text{контр табл}} \cdot i, \quad (1.59)$$

де $t_{\text{контр табл}}$ – табличний час, який пов'язаний з контрольними промірами, хв [5, к. 64, с. 160];

i – періодичність контрольних промірів.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.59):

$$t_{\text{контр}} = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.58):

$$t_e = (0,11 + 0,3 + 0,85 + 0,05) \cdot 1,85 = 2,423 \text{ хв.}$$

Визначаємо норму додаткового часу за формулою, (хв):

$$t_{np} = (t_0 + t_e) \cdot \alpha_{\Sigma}, \quad (1.60)$$

де α_{Σ} – сумарний час на обслуговування, відпочинок та природні потреби, хв.

Визначаємо сумарний час на обслуговування робочого місця, відпочинок та природні потреби за формулою, (хв):

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{\text{обсл}} + \alpha_{\text{отд}} + \alpha_{\text{ест}}, \quad (1.61)$$

де $\alpha_{\text{обсл}}$ – час, який пов'язаний з обслуговуванням робочого місця, хв [5, к. 2, с. 136];

$\alpha_{\text{отд}} + \alpha_{\text{ест}}$ – час, який пов'язаний з відпочинком та особистими потребами, хв [5, к. 2, с. 136].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.61):

$$\alpha_{\Sigma} = 0,021 + 0,042 = 0,063 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.60):

$$t_{np} = (1,05 + 2,423) \cdot 0,063 = 0,218 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний часу за формулою, (хв):

$$t_{\text{шт}} = t_0 + t_e + t_{np}. \quad (1.62)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.62):

$$t_{um} = 1,05 + 2,423 + 0,218 = 3,691 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-заключний час за формулою, (хв):

$$t_{n.з.} = t_{n.з.1} + t_{n.з.2} + t_{n.з.3}, \quad (1.63)$$

де $t_{n.з.1}$ – підготовчо-заключний час на налагодження верстата інструмента та пристосувань, хв [5, к. 49, с. 135];
 $t_{n.з.2}$ – підготовчо-заключний час на додаткові прийоми, хв [5, к. 49, с. 136];
 $t_{n.з.3}$ – підготовчо-заключний час на отримання інструмента та пристосувань до початку та здачу після закінчення обробки, хв [5, к. 49, с. 136].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.63):

$$t_{n-з} = 8 + 0 + 7 = 15 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою, (хв):

$$t_{um-к} = t_{um} + \frac{t_{n-з}}{n}, \quad (1.64)$$

де n – об'єм партії серійного виробництва, шт.

Визначаємо об'єм партії серійного виробництва за формулою, (шт):

$$n = \frac{a \cdot N}{A}, \quad (1.65)$$

де a – періодичність запуску деталі у виробництво, дн;
 N – річна програма випуску, шт;
 A – кількість робочих днів у році.

Виконуємо розрахунки за формулою (1.65):

$$n = \frac{5 \cdot 1500}{253} \approx 30 \text{ шт.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.63):

$$t_{шт-к} = 3,69 + \frac{15}{30} = 4,19 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунок технічної норми часу для свердлильної операції.

Визначаємо час, який пов'язаний з переходом за формулою, (хв):

$$t_{пер} = t_{пер.табл} + t_{вкл/викл} + t_{змс} + t_{змп} + t_{инст} + t_{уст.і} + t_{вкл/викл\ COЖ} + t_{сож}, \quad (1.66)$$

де $t_{пер\ табл}$ – табличний час, який пов'язаний з переходом [5, к. 46, с.295];

$t_{вкл/викл}$ – час, який пов'язаний зі включенням та виключенням верстата;

$t_{змс}$ – час, який пов'язаний зі зміною подачі [5, к. 47, с. 296];

$t_{змп}$ – час, який пов'язаний зі зміною числа обертів [5, к. 47, с. 296];

$t_{уст.і}$ – час, який пов'язаний зі встановленням інструменту [5, к. 47, с. 296];

$t_{вкл/викл\ ЗОР}$ – час, який пов'язаний зі включенням – виключенням ЗОР [5, к. 47, с. 296];

$t_{ЗОР}$ – час, який пов'язаний зі змащуванням деталі [5, к. 47, с. 296].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.66):

$$t_{пер} = 0,17 + 0,01 + 0,03 + 0,03 + 0,05 + 0,03 + 0,05 = 0,82 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.59):

$$t_{контр} = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.58):

$$t_{г} = (0,16 + 0,3 + 0,82 + 0,5) \cdot 1,85 = 3,293 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.61):

$$\alpha_{\Sigma} = 0,075 + 0,02 = 0,095 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.60):

$$t_{np} = (0,5 + 3,293) \cdot 0,095 = 0,36 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.62):

$$t_{um} = 0,5 + 3,293 + 0,36 = 4,153 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.63):

$$t_{n-3} = 9 + 0 + 5 = 13 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.65):

$$n = \frac{5 \cdot 1500}{253} \approx 30 \text{ шт.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.64):

$$t_{um-k} = 4,153 + \frac{15}{30} = 4,6 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунок технічної норми часу для фрезерної операції.

Визначаємо час, який пов'язаний з переходом за формулою, (хв):

$$t_{пер} = t_{реж} + t_{m.o} + t_{вкл/викл} + t_{змс} + t_{змп} + t_{ц} + t_{уст.i} + t_{вкл/викл сож}, \quad (1.67)$$

де $t_{реж}$ – табличний час, який пов'язаний з режимом роботи [5, к. 64, с. 440];

$t_{m.o}$ – табличний час, який пов'язаний з типом обробки [5, к. 64, с. 440];

$t_{вкл/викл}$ – час, який пов'язаний зі включенням та виключенням верстата

$t_{змс}$ – час, який пов'язаний зі зміною подачі [5, к. 64, с. 442];

$t_{змп}$ – час, який пов'язаний зі зміною числа обертів [5, к. 64, с. 442];

$t_{ц}$ – час, який пов'язаний встановленням огороження [5, к. 64, с. 442];

$t_{уст.i}$ – час, який пов'язаний зі встановленням інструменту [5, к. 64, с. 440];

$t_{\text{вкл/викл ЗОР}}$ – час, який пов'язаний зі включенням – виключенням ЗОР [5, к. 66 с. 445].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.67):

$$t_{\text{пер}} = 0,05 + 0,09 + 0,01 + 0,04 + 0,03 + 0,18 + 0,17 + 0,04 = 0,61 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.59):

$$t_{\text{контр}} = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.58):

$$t_{\text{с}} = (0,13 + 0,3 + 0,61 + 0,05) \cdot 1,85 = 2,01 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.61):

$$\alpha_{\Sigma} = 0,0675 + 0,108 = 0,1755 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.60):

$$t_{\text{пр}} = (0,85 + 2,01) \cdot 0,1755 = 0,5 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.58):

$$t_{\text{ум}} = 0,85 + 2,01 + 0,5 = 3,36 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.63):

$$t_{\text{н-з}} = 14,7 + 2 + 0 + 7 = 23,7 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.65):

$$n = \frac{5 \cdot 1500}{253} \approx 30 \text{ шт.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.64):

$$t_{ум-к} = 3,36 + \frac{23,7}{30} = 4,15 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунок технічної норми часу для шліфувальної операції.

Визначаємо час, який пов'язаний з переходом за формулою, (хв):

$$t_{пер} = t_{пер} + t_{вкл/викл} + t_{змс} + t_{змп} + t_{ц} + t_{уст.i}, \quad (1.68)$$

де $t_{пер}$ – табличний час, який пов'язаний з переходом [5, к. 15, с. 639];

$t_{вкл/викл}$ – час, який пов'язаний зі включенням та виключенням верстата

$t_{змс}$ – час, який пов'язаний зі зміною подачі [5, к. 18, с. 643];

$t_{змп}$ – час, який пов'язаний зі зміною числа обертів [5, к. 18, с. 643];

$t_{ц}$ – час, який пов'язаний встановленням огороження [5, к. 15, с. 639].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.68):

$$t_{пер} = 0,08 + 0,01 + 0,03 + 0,03 + 0,09 = 0,24 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.57):

$$t_{контр} = 0,7 \cdot 0,5 = 0,35 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.58):

$$t_{г} = (0,16 + 0,3 + 0,24 + 0,35) \cdot 1,85 = 1,9425 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.61):

$$\alpha_{\Sigma} = 1,7 + 0,04 + 0,007 = 1,747 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.60):

$$t_{np} = (0,028 + 1,9425) \cdot 1,747 = 3,44 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.62):

$$t_{um} = 0,028 + 1,9425 + 3,44 = 5,41 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-заклучний час за формулою, (хв):

$$t_{n.з.} = t_{n.з.1} + t_{n.з.2}, \quad (1.69)$$

де $t_{n.з.1}$ - підготовчо–заклучний час на встановлення деталі, хв [5, к. 20, с. 646];

$t_{n.з.2}$ - підготовчо–заклучний час на зміну шліфувального круга, хв [5, к. 20, с. 646].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.69):

$$t_{n-з} = 7 + 6 = 13 \text{ хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.65):

$$n = \frac{5 \cdot 1500}{253} \approx 30 \text{ шт.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.64):

$$t_{um-к} = 5,41 + \frac{13}{30} = 5,84 \text{ хв.}$$

1.8 Розробка трьох технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК.

1.8.1 Розробка токарної операції

Першим кроком розробки токарної операції є заповнення полів режимів обробки деталі згідно розрахунків режимів різання токарної операції (див. п 1.6). Рис. 1.11.

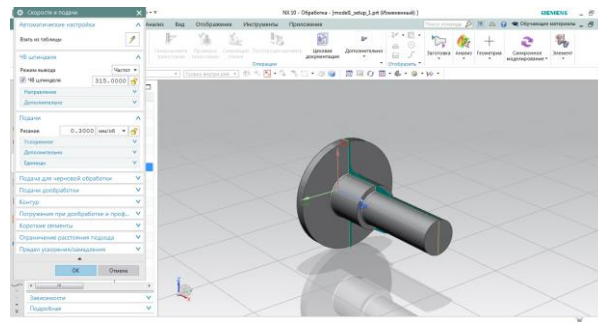


Рисунок 1.11 – Меню введення режимів різання

Далі демонструємо траєкторію та положення інструменту. Рис 1.12.

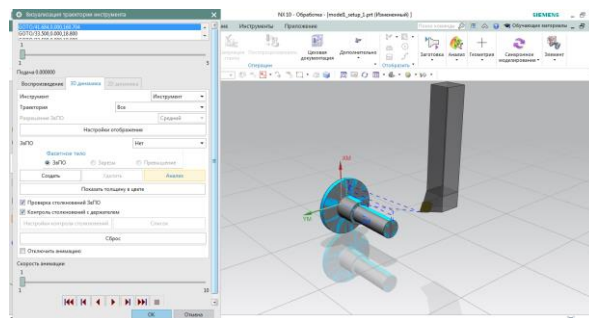


Рисунок 1.12 – Демонстрація траєкторії та положення інструменту

Після цього демонструємо безпосередньо обробку деталі. Рис 1.13.

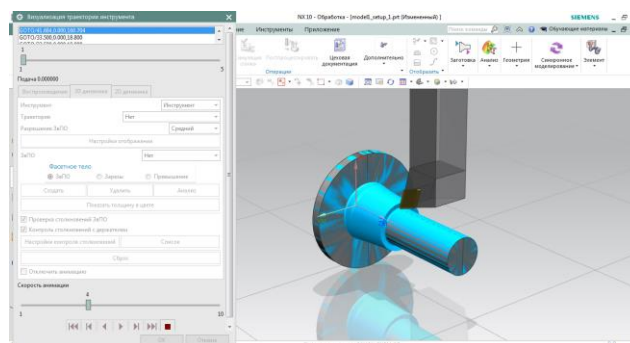


Рисунок 1.13 – Демонстрація обробки деталі

Останнім кроком розробки технологічних операцій є постпроцесування операції. Частина програми токарної операції зображена на рис 1.14.

```

%
N0010 G40 G17 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0.0
N0030 T03 M06
N0040 G00 G90 Y0.0 Z6.3269 S0 M03
N0050 G43 X1.6411 H00
...
N0600 X.4823 Z1.7126
N0610 X.4921
N0620 X.5144 Z1.7349 F3937.
N0630 G00 Z6.3269
N0640 X1.6411
N0650 M02
%

```

Рисунок 1.14 – Постпроцесування фрезерної операції.

1.8.2 Розробка свердлильної операції

Початковим кроком розробки свердлильної операції є заповнення полів режимів обробки деталі згідно розрахунків режимів різання свердлильної операції (див. п 1.6). Рис. 1.15.

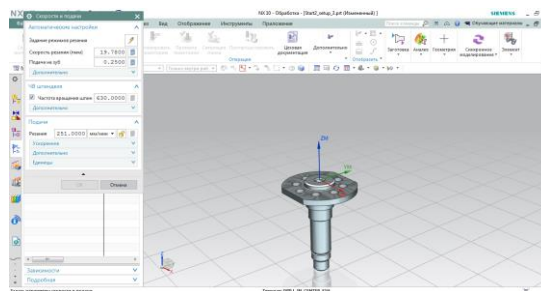


Рисунок 1.15 – Меню введення режимів різання

Потім демонструємо траєкторію та положення інструменту. Рис 1.16.

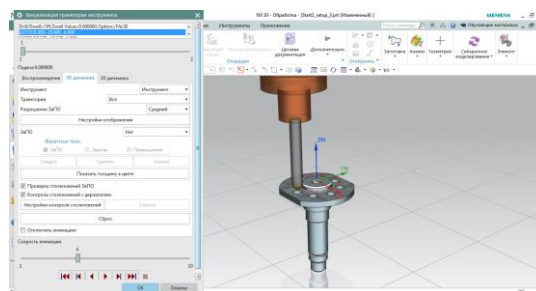


Рисунок 1.16 – Демонстрація траєкторії та положення інструменту

Далі демонструємо безпосередньо обробку деталі. Рис 1.17.

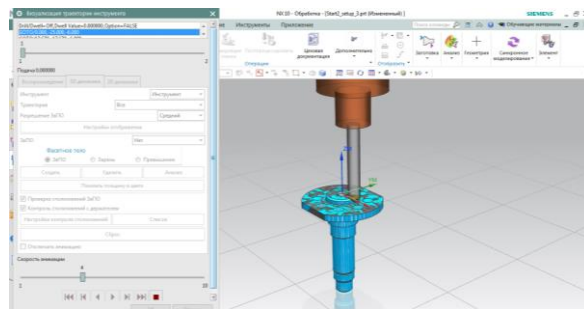


Рисунок 1.17 – Демонстрація обробки деталі

Останім етапом розробки технологічних операцій є постпроцесування операції. Частина програми свердлильної операції зображена на рис 1.18.

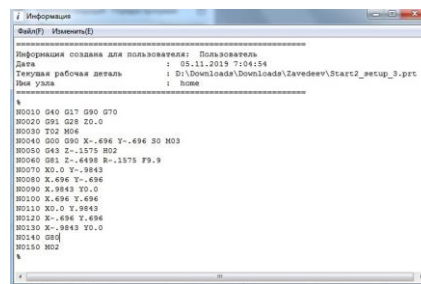


Рисунок 1.18 – Постпроцесування свердлильної операції

1.8.3 Розробка фрезерної операції

Стартовим кроком розробки фрезерної операції є заповнення полів режимів обробки деталі згідно розрахунків режимів різання фрезерної операції (див. п 1.6). Рис. 1.19.

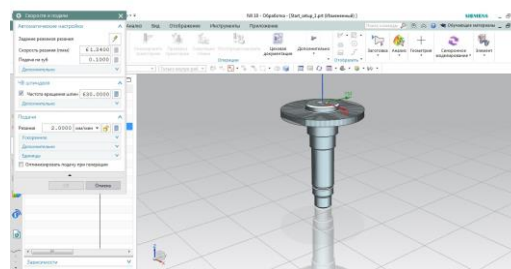


Рисунок 1.19 – Меню введення режимів різання

Далі демонструємо траекторію та положення інструменту. Рис 1.20.

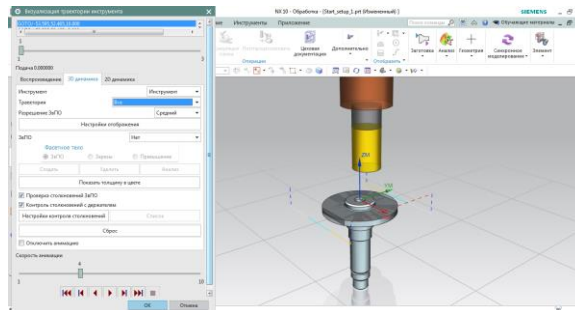


Рисунок 1.20 – Демонстрація траекторії та положення інструменту

Після цього зображуємо безпосередньо обробку деталі. Рис 1.21.

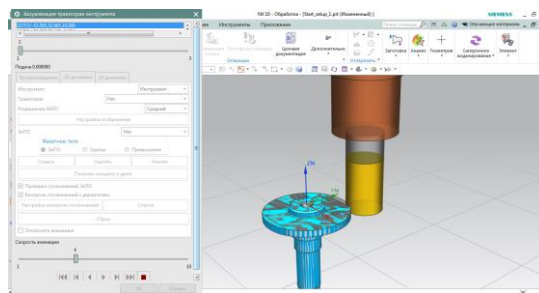


Рисунок 1.21 – Демонстрація обробки деталі

Фінішним кроком розробки технологічних операцій є постпроцесування операції. Частина програми токарної операції зображена на рис 1.22.

```

i Інформація
Файл(F)  Ім'я(И)
-----
Інформація створена для користувача: Пользователь
Дата                : 05.11.2019 7:11:12
Текущая рабочая деталь : D:\Downloads\Downloads\Zavedeev\Start_setup_1.prt
Имя узла            : home
-----
%
N0010 G40 G17 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0,0
N0030 T02 M06
N0040 G00 G90 X-2,1101 Y2,0655 S0 M03
N0050 G43 Z,3937 M02
N0060 Z-,3543
N0070 G01 Z-,4724 F9,8 M08
N0080 X-,7651 Y2,0669
N0090 X-,7624
N0100 X,7624
N0110 X,7631
N0120 X2,1101 Y2,0655
N0130 Z-,3543
N0140 G00 Z,3937
N0150 X2,11 Y-,2,0655
N0160 Z-,3543
N0170 G01 Z-,4724
N0180 X,7631 Y-,2,0669
  
```

Рисунок 1.22 – Постпроцесування фрезерної операції

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Детально вивчивши конструкцію деталі «Вал» було встановлено, що для поліпшення якості обробки та збільшення кількості одночасно оброблюваних деталей пропонується використання пристосування для фрезерної операції. Завдяки цьому пристосуванню виконуються фрезерна обробка 2-х, послідовно розташованих, шпонкових пазів на 4-х деталях «Вал» одночасно.

Ескіз пристосування зображений на рис. 2.1.

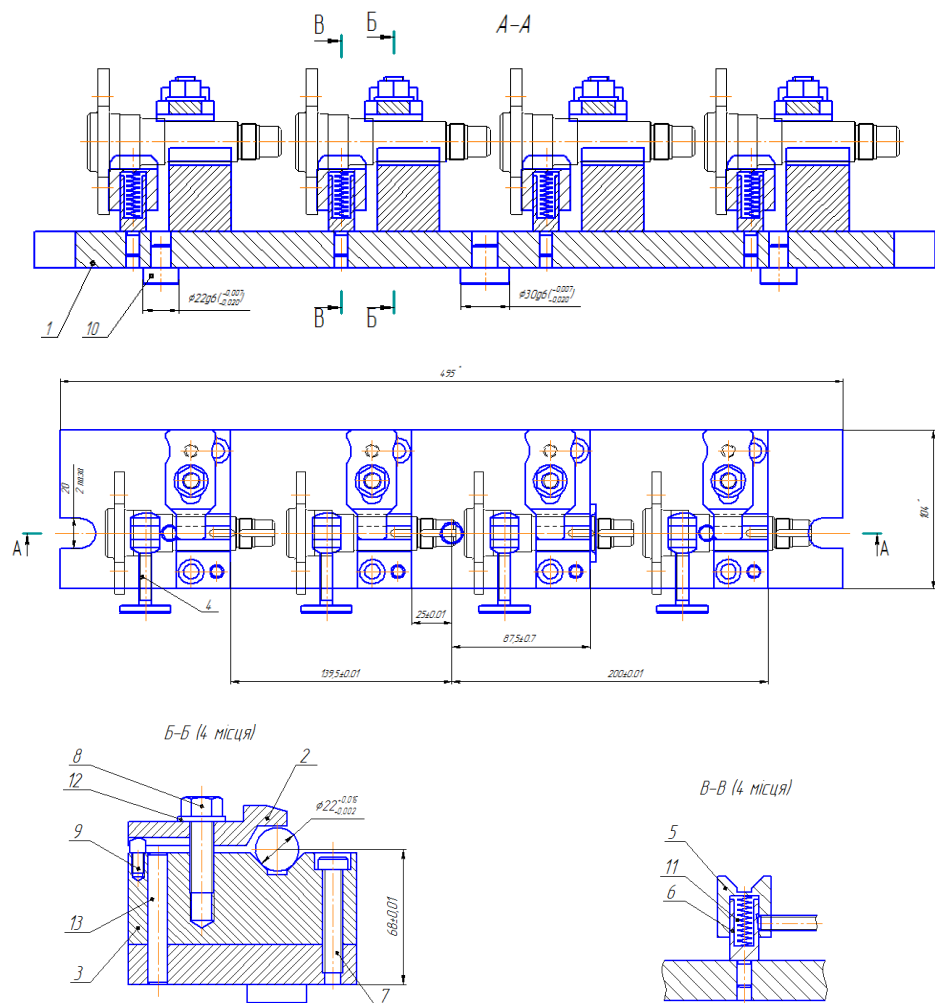


Рисунок 2.1 – Ескіз пристосування для фрезерування шпонкових пазів

Робоче пристосування складається з плити 1 на якій встановлені призми 3 та 5. Вони кріпляться до плити за допомогою болтів 7, штифтів 13 та напрямних стаканів 6. Для затиску деталі є прихват 2, який закріплюється в призмі за допомогою болта 8, шайби 12 та опорного гвинта 9. Балансування деталі досягається завдяки пружині 11, яка встановлена у напрямному стакані. Встановлення та базування даного пристосування здійснюється завдяки встановлюючим пальцям 10[8].

Принцип роботи пристосування наступний: плита 1, на якій встановлені усі основні частини за допомогою спеціального встановлюючого пальця 10 встановлюється на столі верстата. Вал встановлюється на призми 3 та 5. Далі, за допомогою прихвату 2 затискною силою, яка створюється гвинтовим з'єднання деталь затискається та становиться нерухомою, що дає можливість здійснити процес фрезерування шпонкових пазів з найменшими похибками. Креслення та специфікація пристосування знаходиться у додатку та графічній частині проекту.

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахування пристосування на точність.

Проведемо розрахунок похибки базування та закріплення на точність фрезерного пристосування. А саме – розрахуємо виконавчі розміри кутового установа.

Вихідні данні:

$D_{TD} = \varnothing 17 \pm 0,006$ мм; $A_3 = 2_{-0,12}$ мм; $S = 1_{-0,004}$ мм; $\alpha = 90^\circ$; $B = 5_{-0,03}$ мм.
Схему базування при фрезеруванні шпонкового пазу зображено на рис 2.2.

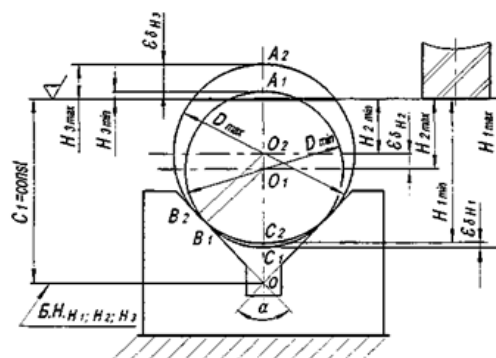


Рисунок 2.2 — Схема настройки інструменту при фрезеруванні шпонкового пазу

Визначаємо похибку базування за формулою (мм):

$$\varepsilon_{\delta} = k_3 \cdot T_D, \quad (2.1)$$

де k_3 – коефіцієнт кута призми; [6]

T_D – допуск валу, мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.1):

$$\varepsilon_{\delta} = 1,21 \cdot 0,12 = 0,14 \text{ мм.}$$

Визначаємо похибку закріплення на призму за формулою (мм):

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_{таб} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (2.2)$$

де $\varepsilon_{таб}$ – таблична похибка закріплення;

α – кут нахилу призми, град.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.19):

$$\varepsilon_3 = 0,05 \cdot \sin 90/2 = 0,035 \text{ мм.}$$

Визначаємо похибку встановлення за формулою (мм):

$$\varepsilon_{уст.} = \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_3. \quad (2.3)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.19):

$$\varepsilon_{уст.} = 0,14 + 0,035 = 0,175 \text{ мм.}$$

Схема встановлення деталі на призму показана на рис. 2.3.

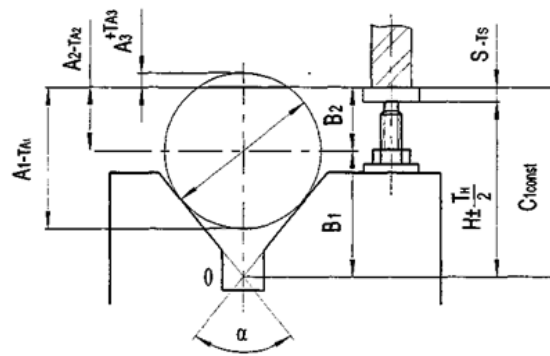


Рисунок 2.3 – Схема встановлення деталі на призму

Розрахуємо середній розмір A_{3cp} за формулою (мм):

$$A_{3cp} = A_3 - \frac{T_A}{2}, \quad (2.3)$$

де A_3 – середній розмір обробки, мм;

T_A – допуск розміру A , мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.4):

$$A_{3cp} = 2 - \frac{0,12}{2} = 1,94 \text{ мм.}$$

Розрахуємо середній діаметр валу D_{cp} за формулою (мм):

$$D_{cp} = D \pm \frac{T_D}{2}, \quad (2.4)$$

де D – діаметр валу, мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.21):

$$D_{cp} = 17 \pm \frac{0,006}{2} = 17 \text{ мм.}$$

Розрахуємо середній радіус R_{cp} за формулою (мм):

$$R_{cp} = \frac{D_{cp}}{2}, \quad (2.5)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.22):

$$R_{cp} = \frac{17}{2} = 8,5 \text{ мм.}$$

Розрахуємо середній розмір B_{1cp} за формулою (мм):

$$B_{1cp} = \frac{R_{cp}}{\sin 45^\circ}, \quad (2.6)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.23):

$$B_{1cp} = \frac{8,5}{\sin 45^\circ} = 12,02 \text{ мм.}$$

Розрахуємо допуск на розмір B_{1cp} за формулою (мм):

$$TB_{1cp} = \frac{T_D}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.7)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.8):

$$TB_{1cp} = \frac{0,012}{2 \cdot \sin \frac{90^\circ}{2}} = 0,0084 \text{ мм.}$$

Розрахуємо середній розмір B_{2cp} за формулою (мм):

$$B_{2cp} = T_{A3} - \frac{T_D}{2} \quad (2.8)$$

де T_{A3} – допуск на розмір A_3 , мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.8):

$$B_{2cp} = 8,5 - 1,94 = 6,56 \text{ мм.}$$

Розрахуємо допуск на розмір B_{2cp} за формулою (мм):

$$TB_{2cp} = T_{A3} - \frac{T_D}{2}, \quad (2.9)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.9):

$$TB_{2cp} = 0,12 - \frac{0,012}{2} = 0,114 \text{ мм.}$$

Розрахуємо середній розмір щупа S_{cp} за формулою (мм):

$$S_{cp} = S - \frac{T_S}{2}, \quad (2.10)$$

де S – розмір щупа, мм

T_S – допуск на середній розмір щупа, мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.10):

$$S_{cp} = 1 - \frac{0,004}{2} = 0,998 \text{ мм.}$$

Розрахуємо середній розмір установка H_1 за формулою (мм):

$$H_1 = B_{1cp} + B_{2cp} - S_{cp}, \quad (2.11)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.11):

$$H_1 = 12,02 + 6,56 - 0,998 = 17,582 \text{ мм.}$$

Розрахуємо загальний розмір H за формулою (мм):

$$H = H_1 + a, \quad (2.12)$$

де a – відстань від перетину похилих поверхонь призми до опорної площини призми.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.12):

$$H = 17,582 + 32,5 = 50,082 \text{ мм.}$$

Розрахуємо допуск на розмір Н за формулою (мм):

$$T_H = TB_{1cp} + TB_{2cp} + T_S, \quad (2.13)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.30):

$$T_H = 0,0084 + 0,114 + 0,004 = 0,1264 \text{ мм.}$$

Виконуємо перевірку на відповідність до вимог точності за формулою:

$$\frac{T_H}{2} \leq \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{3}\right) \cdot T_{A3}, \quad (2.14)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.31):

$$\frac{0,1264}{2} \leq \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{3}\right) \cdot 0,12.$$

Вимога на відповідність до точності не виконується. Розраховуємо допуск на установ з урахуванням економічної точності за формулою (мм):

$$T_{H\text{вст}} = T_A - (k_1 \cdot \varepsilon_0 + \varepsilon_3 + k_2 \cdot 2\omega), \quad (2.15)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує зменшення похибки базування; [7]

k_2 – коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки в загальній похибці; [7]

ω – середня економічна точність обробки. [7]

Виконуємо розрахунки за формулою (2.32):

$$T_{H\text{вст}} = 0,12 - (0,83 \cdot 0,014 + 0,035 + 0,63 \cdot 0,06) = 0,4258 = \pm 0,02129 \text{ мм.}$$

Приймаємо $T_{H\text{вст}} = \pm 0,02 \text{ мм.}$

Перевіряємо на відповідність до вимоги точності за формулою (2.14):

$$0,02 \leq 0,03 = \frac{1}{4} \cdot 0,12.$$

Вимога на відповідність до точності виконується.

Визначимо виконавчий розмір установка за формулою (мм):

$$H_{уст} = H_{THVcm} \cdot \quad (2.16)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.16):

$$H_{уст} = 50,082_{-0,02} \text{ мм}$$

Розрахунок розміру вертикальної полки установка.

Визначимо середній розмір обробки B_{cp} за формулою (мм):

$$\frac{B_{cp}}{2} = \frac{B + \frac{T_B}{2}}{2}, \quad (2.17)$$

де T_B – допуск на розмір B , мм;

Виконуємо розрахунки за формулою (2.17):

$$\frac{B_{cp}}{2} = \frac{5 + \frac{-0,03}{2}}{2} = 2,4925 \text{ мм.}$$

Визначимо середній розмір установка H_{cp} за формулою (мм):

$$H_{cp} = \frac{B_{cp}}{2} + S_{cp}, \quad (2.18)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.18):

$$H_{cp} = 2,4925 + 0,998 = 3,4905 \text{ мм.}$$

Розрахуємо допуск на розмір H за формулою (мм):

$$T_H = T_{T.T.} - k_2 \omega, \quad (2.19)$$

де $T_{m.m}$ – допуск на розмір B , мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.19):

$$T_H = 0,03 - 0,0189 = 0,0111 = \pm 0,0055 \text{ мм.}$$

Приймаємо $T_H = \pm 0,01$ мм.

Виконуємо перевірку на відповідність до вимог точності за формулою(мм):

$$\frac{T_H}{2} \leq \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{3}\right) \cdot T_{A3}. \quad (2.20)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.20):

$$0,01 \leq 0,01 = \frac{1}{3} \cdot 0,03 \text{ мм}$$

Вимога на відповідність до точності виконується.

Визначимо виконавчий розмір установка за формулою (мм):

$$H_{уст} = H_{cp}^{TH}, \quad (2.21)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.21):

$$H_{уст} = 3,49^{+0,01} \text{ мм}$$

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір силового присторою.

Виконуємо розрахунок режимів різання для пазу $d = 17$ мм.;
 $l = 22,5$ мм.; $b = 5$ мм.; $t = 3$ мм.

Визначаємо подачу. Вибираємо спосіб фрезерування – врізання на всю глибину шпонкового пазу та фрезерування за один прохід. Величина подачі поздовжнього руху складає $S_{z_0} = 0,025$ мм. [3, т. 38 с. 286].

Виконуємо розрахунки за формулою (1.44):

$$K_{MV} = 1 \cdot \left(\frac{750}{710} \right)^{-0,9} = 0,95.$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.45):

$$K_v = 0,95 \cdot 1 \cdot 1 = 0,95.$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.43):

$$V = \frac{12 \cdot 17^{0,3}}{17^{0,26} \cdot 3^{0,3} \cdot 0,025^{0,25} \cdot 5^0 \cdot 2^0} \cdot 0,95 = 17,51 \text{ м/хв.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (1.28):

$$n_{розр} = \frac{1000 \cdot 17,51}{3,14 \cdot 17} = 328 \text{ об/хв.}$$

Скориговане число обертів шпинделя верстата відповідно до паспорту верстата: $n_{см} = 315$ об/хв.

Визначаємо хвилинну подачу, за формулою мм/хв:

$$S_m = S_{z_0} \cdot n_{см}, \quad (2.22)$$

де S_{z_0} – величина подачі поздовжнього руху, мм;
 $n_{см}$ – скориговане число обертів шпинделя верстата, об/хв.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.22):

$$S_m = 0,025 \cdot 315 = 7,875 \text{ мм/хв.}$$

Скориговане число хвилинної подачі відповідно до паспорту верстата:

$$S_m = 12,5 \text{ мм/хв};$$

Визначаємо фактичну подачу на зуб за формулою, мм/зуб:

$$S_{z\phi} = \frac{S_m}{Z \cdot n_{cm}} \quad (2.23)$$

де S_m – хвилинна подача;

Z – кількість зубів фрези, шт;

n_{cm} – скориговане число обертів шпинделя верстата, об/хв.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.23):

$$S_{z\phi} = \frac{12,5}{2 \cdot 315} = 0,02 \text{ мм/зуб}.$$

Коефіцієнт K_{mp} для сталі визначаємо за формулою (1.32).

Виконуємо розрахунки за формулою (2.16):

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,02^{0,72} \cdot 5^1 \cdot 2}{17^{0,86} \cdot 315^0} \cdot 0,98 = 1070,3 \text{ Н}.$$

Схема сил при фрезеруванні шпонкового пазу зображено на рис. 2.3.

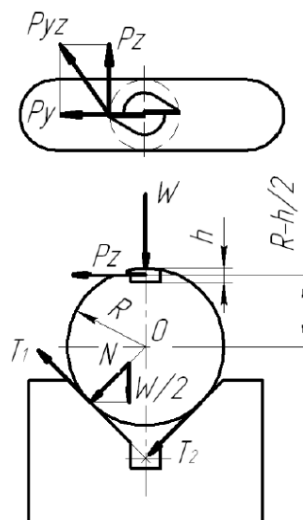


Рисунок 2.3 – Схема сил при фрезеруванні шпонкового пазу

Визначимо коефіцієнт запасу закріплення за формулою:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (2.24)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу [6, с. 28];

k_1 – коефіцієнт, що враховує зміну(коливання) сил різання в процесі обробки із-за нерівномірності припуску на заготовці [6, с. 28];

k_2 – коефіцієнт, який залежить від виду обробки, оброблюваного матеріалу і нерівномірного зносу ріжучого інструменту, [6, с. 28];

k_3 – коефіцієнт, що враховує умови переривистого виду обробки [6, с.29];

k_4 – коефіцієнт, що характеризує затискний пристрій з погляду постійності сил затиску [6, с. 29];

k_5 – коефіцієнт, що характеризує ручні затиски з погляду зручності закріплення деталі [6, с. 29];

k_6 – коефіцієнт, що залежить від виду опорної поверхні пристосування [6, с. 29].

Виконуємо розрахунки за формулою (2.24):

$$k = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1 = 3,36.$$

Сума діючих моментів відносно вісі ОХ визначається за рівнянням:

$$k \cdot \sum M_{акт ОХ} - \sum M_{пр ОХ} = 0; \quad (2.25)$$

$$\sum M_{акт ОХ} = Pz \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right);$$

$$\sum M_{пр ОХ} = 2T \cdot R;$$

$$T = f \cdot N = f \cdot \frac{W}{2 \cdot \sin \cdot \left(\frac{\alpha}{2}\right)}.$$

Підставляємо вказані вище значення та отримуємо такий вид рівняння:

$$k \cdot P_z \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right) = f \cdot \frac{W}{2 \cdot \sin \cdot \left(\frac{\alpha}{2}\right)} R, \quad (2.26)$$

де P_z – тангенційна складова сил різання, Н;

h – глибина шпокового пазу, мм;

R – радіус валу, мм;

f – коефіцієнт тертя, мм;

W – сила затиску.

Перетворюючи рівняння (2.26) отримуємо невідому силу затиску (Н):

$$W = \frac{k \cdot P_z \cdot (R - h/2) \sin(\alpha/2)}{fR}. \quad (2.27)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.27):

$$W = \frac{3,36 \cdot 1070,3 \cdot (8,5 - 1,5) \cdot 0,7071}{0,15 \cdot 8,5} = 13960,9 \text{ Н.}$$

Виходячи з величини необхідної сили затиску визначаємо діаметр різьблення гвинта за формулою, (мм):

$$d = c \cdot \sqrt{W / \sigma} \quad (2.28)$$

де c – коефіцієнт для метричних різьб зі звичайним кроком;

σ – допустима напруга розтягнення.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.28):

$$d = 1,4 \cdot \sqrt{13960,9 / 60} = 15,22 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр різьблення гвинта – М20 [7, с.124].

Для визначення моменту затягування гвинта, розглянемо умову статичної рівноваги гвинтового затиску за формулою:

$$M_{рук} = M'_{тр} + M''_{тр} \quad (2.29)$$

де $M'_{тр}$ – момент тертя у різьбовій парі гвинт-гайка, Н·м;

M''_{mp} – момент тертя у п'яті, Н·м.

Визначаємо момент тертя в різьбовій парі за формулою (Н):

$$M'_{mp} = W \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_p) \cdot \frac{d_{cp}}{2} \quad (2.30)$$

де α – кут підйому витка різьби, град[7, с.126];

φ_p – кут тертя у різьбовому різьбленні, град[7, с.126];

d_{cp} – середній діаметр різьби, мм.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.30):

$$M'_{mp} = 13960,6 \cdot \operatorname{tg}(2^\circ 30' + 6^\circ 40') \cdot \frac{18,376}{2} = 20699,075 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Визначаємо момент тертя в плоскій п'яті за формулою:

$$M''_{mp} = W \cdot \frac{f_n}{3} D \quad (2.31)$$

де f_n – коефіцієнт тертя на торці гвинта або гайки [7, с.126]

Виконуємо розрахунки за формулою (2.31):

$$M''_{mp} = 13960,9 \cdot \frac{0,1}{3} \cdot 20 = 9307,26 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.29):

$$M_{рук} = 20699,075 + 9307,26 = 30006,335 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Отже, у зв'язку з тим, що зусилля затягування гвинтового з'єднання різьблення М20 складає 16000 Н, що є більшим за виникаючу при обробці силу W , яка складає 13960,9 Н можна вважати, що пристосування виконус своє безпосереднє призначення для утримання деталі на призмі при обробці.

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Опис конструкції і принципу роботи пристосування

Детально вивчивши конструкцію деталі «Вал» було спроектовано контрольне пристосування для перевірки радіального биття для 2-х поверхонь деталі одночасно. Ескіз пристосування зображений на рис. 2.4.

Контрольне пристосування складається з корпусу 1 на якому встановлені бабка 13 з центром 7, стійка 8 з центром 7, призма 9, на які встановлюється деталь, яка підлягає перевірці. Бабка 13 складається з наступних частин: центру 6, пружини 5, кришки 4 та важеля 3. Фіксація вище згаданих деталей здійснюється за допомогою спеціального гвинта 2, гвинтами 14 та 15. Вимірювання здійснюється за допомогою індикаторів годинникового типу 20, які встановлені на плиті 10 за допомогою стійки індикаторної 11 та магнітного тримача 12, [7].

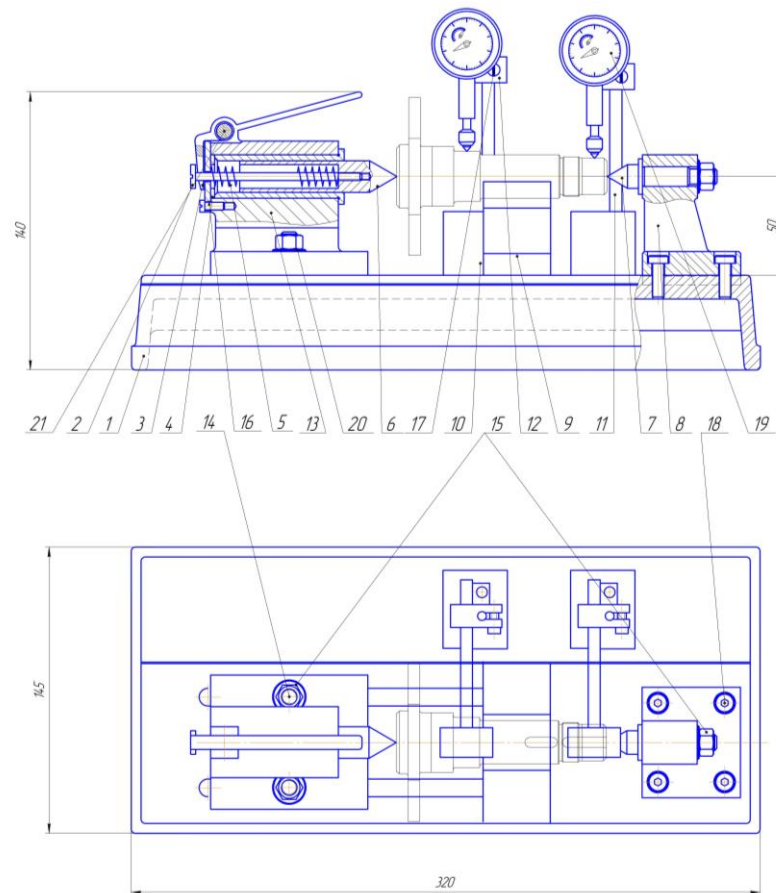


Рисунок 2.4 – Ескіз пристосування для контролю биття

Принцип роботи пристосування наступний: корпус 1, на якому встановлені усі основні частини за встановлюється на столі ОТК. Вал за допомогою механізму затиску та натягу встановлюється у центрах та призмі. Далі на вільне місце встановлюється магнітний тримач для індикатора часового типу. Після цього проходить вимірювання биття на визначених кресленнях та конструкцією деталей ділянках. Креслення пристосування та специфікація знаходиться у додатку та графічній частині проекту.

2.2.2 Вибір засобу вимірювання

Вибір засобу вимірювання є відповідальною дією для технологічного процесу обробки деталі. Засіб вимірювання повинен мати найбільш сприятливі метрологічні, ергономічні, експлуатаційні характеристики. Допустима похибка вимірювання контрольного пристосування визначається за ГОСТ 8.051-81 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм».

Визначаємо допустиму похибку засобу вимірювання, за формулою (мм):

$$|\delta_{вим}| = k \cdot T_K, \quad (2.32)$$

де k – коефіцієнт, залежить від квалітету або ступеня точності контролюваного параметра [7].

T_K – допуск на розмір контролюваної поверхні, вказаний на кресленні деталі.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.32):

$$|\delta_{вим}| = 0,2 \cdot 0,02 = 0,004 \text{ мм.}$$

Відповідно до ГОСТ 8.051–81 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм» приймаємо допустиму похибку засобів вимірювання у $|\delta_{вим}| = 0,001 \text{ мм.}$

Визначаємо допустиму фактичну похибку засобу вимірювання, за формулою (мм):

$$|\Delta_{\text{вим}}| = 0,7 \cdot |\delta_{\text{вим}}|, \quad (2.33)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.33):

$$|\Delta_{\text{вим}}| = 0,7 \cdot 0,001 = 0,0007 \text{ мм.}$$

Ціну поділки визначаємо в залежності від величини допустимої фактичної похибки засобу вимірювання та приймаємо $|\Delta_{\text{вим}}| = 0,001 \text{ мм.}$

Інтервал поділки шкали [A] приймаємо 2 мм, виходячи з умов праці робітника.

Визначаємо межу вимірювання за шкалою [A], за формулою (мм):

$$[A] = 4 \cdot T_k, \quad (2.34)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.34):

$$[A] = 4 \cdot 0,02 = 0,08 \text{ мм.}$$

Інтервал поділки шкали [B] приймаємо 2 мм, згідно з умовами експлуатації. Приймаємо $[B] = 2 \text{ мм.}$

Вимірювальне зусилля P_{yc} визначається характером контрольованих поверхонь та величиною допуску вимірюваного параметра. Приймаємо $|P_{\text{yc}}| = 5 \text{ Н.}$ Допустиме коливання вимірювального зусилля приймаємо $\Delta P_{\text{yc}} = 1 \text{ Н.}$

Визначаємо кількість циклів вимірювання з ймовірністю безвідмовної роботи, за формулою (шт):

$$[t(P)] = 2 \cdot N \quad (2.35)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.35):

$$[t(P)] = 2 \cdot 5000 = 10000 \text{ шт.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи примаємо $|P| = 0,85$.

На підставі виконаних розрахунків, за ГОСТ 9696-82 «Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм» обираємо в якості засобу вимірювання індикаторні годинник моделі 2МИГ-1. Даний прилад зображений на рис. 2.5. Обраний засіб вимірювання характеризується наступними параметрами:

1. Похибка вимірювання = 0,001 мм.
2. Найбільше вимірювальне зусилля = 1,5 Н.
3. Коливання вимірювального зусилля = 0,5 Н.
4. Межа вимірювання за шкалою [А] = 0,1 мм.
5. Межа вимірювання за шкалою [Б] = 0 – 2 мм.
6. Кількість циклів вимірювання з ймовірністю безвідмовної роботи 0,85, складає 10000 шт.

Головка індикатора виконана суцільним литим силуміновим корпусом. В латунних платах розташований вимірювальний механізм, що складається з трьох важільного кулісного механізму та одноступінчастої зубчастої передачі. Сталевий вимірювальний стрижень, оснащений вимірювальним наконечником, рухається в сталевий направляючої втулці, запресованої в корпусі. Вимірювальне зусилля забезпечується двома пружинами. Для підвищення точності і надійності вимірювань, наконечник вимірювального приладу забезпечений вставкою з твердого сплаву.

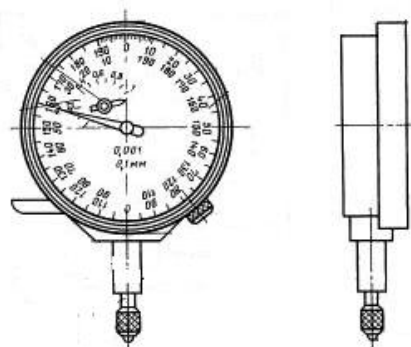


Рисунок 2.5 – Ескіз індикатора багатооборотного моделі 2МИГ-1

2.2.3 Розрахунок допустимої сумарної похибки вимірювань

Визначаємо допустиму сумарну похибку вимірювань за формулою:

$$\Delta_{\text{вим.}} = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta_6^2 + \Delta_7^2 + \Delta_8^2}, \quad (2.36)$$

де k – коефіцієнт відносного розсіювання; [7].

Δ_1 – похибка базування і закріплення;

Δ_2 – частина похибки установки і зносу опорних елементів пристосування;

Δ_3 – частина похибки конструкції пристосування;

Δ_4 – похибка, яка залежить від ціни поділу індикатора годинникового типу;

Δ_5 – похибка настройки пристосування за еталоном;

Δ_6 – похибка від контактних деформацій;

Δ_7 – похибка від температурних деформацій.

Δ_8 – співвісність центрів, мм.

Визначаємо частину похибки установки і зносу опорних елементів пристосування за формулою (мм):

$$\Delta_2 = 0,5 \cdot a \quad (2.37)$$

де a - відхилення обробленої поверхні.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.37):

$$\Delta_2 = 0,5 \cdot 0,02 = 0,01 \text{ мм.}$$

Визначаємо частину похибки конструкції пристосування за формулою (мм):

$$\Delta_3 = (0,07 \dots 0,1) \cdot a \quad (2.38)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.38):

$$\Delta_3 = 0,085 \cdot 0,02 = 0,0017 \text{ мм.}$$

Визначаємо похибку від контактних деформацій за формулою (мм):

$$\Delta_6 = 0,43 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{r}}, \quad (2.39)$$

де k – коефіцієнт, який залежить від матеріалу вимірювального наконечника;

r – радіус вершини наконечника, мм;

Виконуємо розрахунки за формулою (2.39):

$$\Delta_6 = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,5^2}{5}} = 0,27 \text{ мм.}$$

Визначаємо похибку від контактних деформацій за формулою (мм):

$$\Delta_7 = l \cdot \alpha \cdot (t_1^\circ - t_2^\circ), \quad (2.40)$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення матеріалів вимірювального об'єкта і вимірювального засобу;

l – довжина щупа, який здійснює контакт з деталлю;

t_1, t_2 – температури вимірюваного об'єкта і наконечника.

Виконуємо розрахунки за формулою (2.40):

$$\Delta_7 = 10 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6} \cdot (25 - 20) = 0,00067 \text{ мм.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (2.36):

$$\Delta_{\text{вим.}} = \frac{1}{0,85} \cdot \sqrt{0^2 + 0,01^2 + 0,0017^2 + 0,001^2 + 0^2 + 0,00027^2 + 0,00067^2 + 0,005^2} = 0,00012 \text{ мм}$$

$$\Delta_{\text{вим.}} = 0,00012 \leq [\Delta_{\text{вим.}}] = 0,0007$$

Отже, порівнявши фактичну сумарну похибку з допустимою робимо висновок, що умова придатності виконується, пристосування можна використовувати для даної контрольної операції.

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ШЛІФУВАЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ

Шорсткість поверхні є одним з важливих показників якості деталей машин. Вона визначає властивості як рухомих, так і нерухомих з'єднань, а також ряд інших показників якості [8, 9]. Важливим завданням сучасного машинобудування є підвищення економічної ефективності обробки деталей. Для цього необхідно забезпечити високу продуктивність при заданому рівні якості деталей [10]. Контроль якості поверхні деталей при обробці шліфуванням є актуальним завданням. Це пов'язано в першу чергу з тим, що шліфування є фінішною обробкою і поява браку на цій операції зводить нанівець усі зусилля із підвищення якості на попередніх операціях [11].

Витрати допоміжного часу на вимір шліфованої деталі складають від 20 до 40% усього допоміжного часу. З цього отримуємо висновок про необхідність впровадження засобів механізації і автоматизації контролю [12].

Об'єктом опрацювання в даній роботі є деталь «Вал». Поверхні деталі 1, 2, 3, 4 (рис. 3.1) оброблюється з точністю $\text{Ø}17,006_{-0,012}$, $\text{Ø}22,15_{0,013}$, $\text{Ø}25,008_{0,014}$ $\text{Ø}30,3_{-0,1}$ та шорсткістю поверхонь $Ra\ 0,8$.

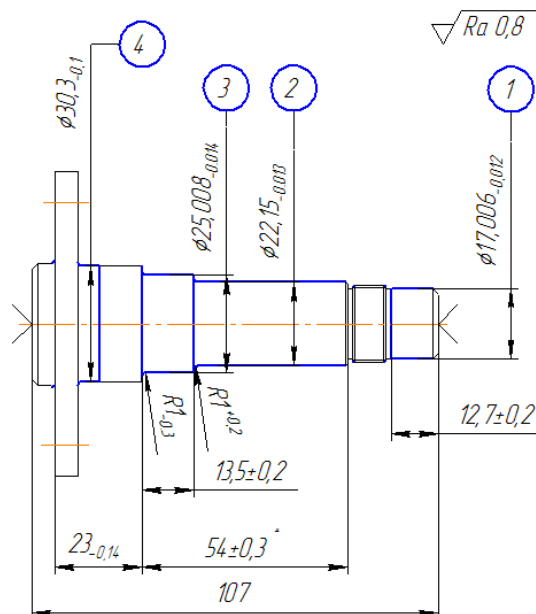


Рисунок 3.1 – Ескіз деталі «Вал»

Типовою операцією технологічного процесу обробки даної деталі є шліфування на круглошліфувальному верстаті моделі 3A151 та контроль розмірів штангенциркулем ШЦ-II-160-0,05 та мікрометром МР-50. Ці засоби обробки та контролю є ручними, тобто не оснащенні автоматизованими

системами. Виходячи з цього, пропонується 2 варіанти автоматизації операції технологічного процесу: 1-й варіант – застосування систем активного контролю та 2-й варіант – застосування верстатів з системою ЧПК.

Першим варіантом застосування автоматизації є впровадження у технологічний процес обробки даної деталі прогресивного методу – контролю трьохконтактною системою.

У пристроях, що працюють за трьохконтактною схемою (рис. 3.2), скоба 8 забезпечена жорстко пов'язаними з нею контактними наконечниками, що спираються на оброблювану поверхню і забезпечують певне взаємне розташування вісі оброблюваної деталі 2 і скоби. Другий контактний наконечник пов'язаний із стержнем 5, який може переміщатися відносно скоби 8.

Зміна розміру D оброблюваної деталі сприймається відліковим пристроєм 7 або чутливим елементом цього пристрою (індикаторною головкою, індуктивним перетворювачем, вимірювальним соплом), жорстко пов'язаним зі скобою. У більшості випадків скоба за допомогою ручного пристрою, що підводиться, закріплюється на кожусі шліфувального круга. Це зручно для установки і знімання деталі, оскільки бабка шліфувального круга відводиться від деталі на значну відстань. Таке закріплення зручно також при шліфуванні одним кругом послідовно декількох шийок оброблюваної деталі. У разі шліфування з подовжнім поданням скобу кріплять на столі верстата, на передній або задній бабці, щоб виключити відносне переміщення скоби і деталі уздовж її осі, що впливає на точність виміру. Тут діаметр оброблюваної деталі вимірюється в одному перерізі уздовж її осі [13].

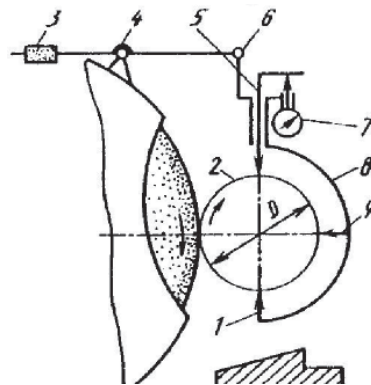


Рисунок 3.2 - Схема трьохконтактноної скоби

Конструкція пристрою для установки трьохконтактної скоби на верстаті забезпечує необхідні ступені свободи для її самовстановлення на поверхні деталі завдяки наявності шарнірів 4 і 6. Підтиск наконечників 1 і 9 до поверхні деталі здійснюється вантажем 3 або спіральною пружиною пристрою, що підводиться. До переваг трьохконтактної схеми слід віднести незалежність свідчень вимірювального пристрою від зміни взаємного положення оброблюваної деталі і вузлів верстата, оскільки вимірювальні пристрої базуються безпосередньо по вимірюваній поверхні.

Основним приладом для активного контролю при круглому зовнішньому шліфуванні деталі є індуктивний прилад БВ-4304 з навісною трьохконтактною скобою і цифровим блоком БВ-6425-07. Загальний вид приладу БВ-4304 зображений на рис. 3.3 [13].



1 – Цифровий блок управління БВ-6425-07; 2 – Трьохконтактна навісна скоба БВ-3154; 3 – Індуктивний перетворювач БВ-6240; 4 – Кронштейн БВ-3221.

Рисунок 3.3 – Загальний вид приладу БВ-4304

Скобу встановлюють на верстаті за допомогою уніфікованого кронштейна БВ-3221, який закріплюють на кожусі шліфовального круга. Для шарнірного підвішування корпусу 9 скоби застосована скалка 1, встановлена на двох осях обертання 18 і 2. Вісь 18 є підшипником ковзання, на якому вільно обертається скоба, а вісь 2 кронштейну встановлена на кулькових

підшипниках 5 в корпусі 6 кронштейна. Трьохконтактна індуктивна скоба представлена на рис.3.4 [13].

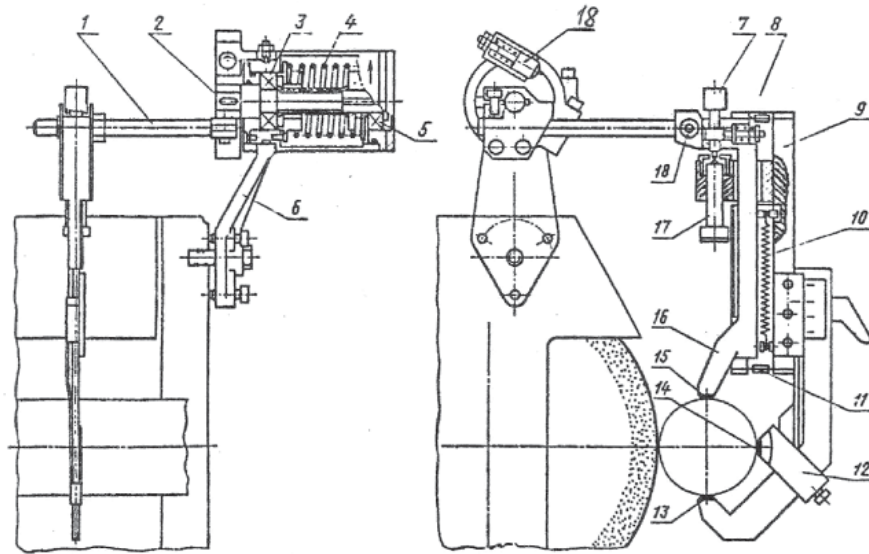


Рисунок 3.4 - Трьохконтактна індуктивна скоба

Спиральна пружина 4, вмонтована в корпус кронштейна 6, створює момент сили щодо вісі 2, що забезпечує контактне зусилля на нижньому наконечнику 13. Підпружинений плунжер 2 служить для амортизації удару при відводі скоби в вихідне положення. Виміррювальна каретка 16 підвішена до корпусу скоби на плоскопаралельних пружинах 8 і 11. На каретці встановлений мікрометричний гвинт 7, що взаємодіє зі штоком індуктивного перетворювача 17. Контактне зусилля на верхньому наконечнику 15 забезпечується пружиною розтягування 10. Змінна штанга з нижнім наконечником 13 має шкалу для полегшення налаштувань скоби на заданий номінальний розмір. На штанзі закріплений движок 12 з боковим базуючим наконечником 14.

Робочий цикл шліфування методом врізання з застосуванням трьохконтактної навісної скоби здійснюється наступним чином. У початковій фазі циклу скоба та шліфувальна бабка займає вихідне положення (скоба знята з деталями, шліфувальний круг відведений від деталі). Для виключення видачі фальшивих команд з блоку приладів в невикористаному положенні скоби блокуються ланцюги видачі команд управління (не одна команда на верстат не видається). Блокування здійснюється по вихідному сигналу індукційного перетворення, який припадає на минуле значення (наприклад, – 100 мкм). Після встановлення заготовки на обробку здійснюється

прискореній підвід шліфувального круга та перехід на прискорену або чорнову подачу [13].

Скоба вручну встановлюється на деталь, яка оброблюється. Від індукційного перетворювача подається плюсовий сигнал, за винятком блокування вихідних командних цілей, які формують електронний блок формування сигналу, що запускає реле часу (РЧ) в блоці управління. Рівень спрацювання РЧ по сигналу індукційного перетворення в блоці управління БВ-6425-07 відповідає точності мінус 15 мкм. РЧ забезпечує включення командних ланцюгів з затримкою, на 1,5 – 2 с, що перевищує, необхідні для встановлення скоби в робоче положення (контактні наконечники знаходяться на деталі). Тепер командні ланцюги приладу можуть видати управляючі сигнали в системі управління верстатами.

У процесі обробки індуктивний перетворювач сприймає переміщення вимірюючої каретки скоби. Вихідний сигнал перетворювача, пропорційний зміні розміру валу, після посилення електронною схемою блоку перетворюється в аналоговий та цифровий сигнали для показу пристрою блоку і дискретних команд, що поступають в схему управління верстата. Попередні команди приладу забезпечують перехід від прискореної до чорнової і чистої подачі абразивного круга. В момент досягнення заданого розміру формується остаточна команда для прискореного відводу шліфувальної бабки, та скоба вручну знімається з заготовками. [13]

Отже, беручи до уваги інформацію, яка викладена вище, можна зробити висновок що активний контроль окрім розділення продукції на придатну і дефектну доставляє інформацію про причини появи браку, яка по ланцюгу зворотного зв'язку поступає в інженерно-технічні служби для аналізу і ухвалення рішень про необхідне коригування тих або інших елементів виробничого процесу [13]. Активний контроль попереджає появу браку. Оператор звільняється від безперервного спостереження за ходом технологічного процесу, стає можливим багатOVERстатне обслуговування. Підвищується продуктивність праці за рахунок скорочення допоміжного часу і точність обробки [14].

Другим варіантом застосування автоматизації в технологічному процесі є використання шліфувальних верстатів з ЧПК. Системами ЧПК оснащують круглошліфувальні, внутрішньо-шліфувальні, плоскошліфувальні, безцентрово-шліфувальні, контурно-шліфувальні і інші верстати. При цьому виникають технічні труднощі, які пояснюються

наступними причинами. Процес шліфування характеризується, з одного боку, необхідністю отримання високої точності і якості поверхні при мінімальному розсіянні розмірів, з іншого боку – особливістю інструменту, розмірній точності шліфувального круга, що полягає в швидкій втраті, внаслідок його інтенсивного зношування в процесі роботи. Отже, у верстаті потрібні механізми автоматичної компенсації зношування шліфувального круга. Система ЧПК має бути замкнutoю для компенсації деформацій системи СПД, температурних погрішностей, різних припусків на заготовках, неточностей верстата тощо.

Вимірjувальні системи повинні мати високу роздільну здатність, що забезпечує жорсткі допуски на точність позиціонування, наприклад, в круглошліфувальних верстатах такі прилади забезпечують безперервний вимір діаметрів в процесі обробки з відносною погрішністю не більше 2-х 10^{-5} мм. Контроль подовжніх переміщень столу повинен здійснюватися з погрішністю не більше 0,1 мм для круглошліфувальних верстатів і 0,02-0,03 мм для торцекруглошліфувальних. Через велику кількість невизначеної технологічної інформації, що міститься в програмі, недоцільно використовувати програмний носій на перфострічці. Тому для шліфувальних верстатів часто використовують системи типу CNC. Для цих систем характерне управління по 3-4 координатам, але у верстатах, працюючих декількома кругами, можливе управління по 5-6 і навіть 8 координатам. Взаємозв'язок між оператором і системою ЧПК (CNC) шліфувального верстата у більшості випадків здійснюється в діалоговому режимі за допомогою дисплея. Є також можливість дистанційного введення програм від центральної ЕОМ при включенні верстата в автоматизовану ділянку. Застосовуються вбудовані діагностичні системи, що підвищують надійність верстатів [15].

Одним із відомих представників сімейства круглошліфувальних верстатів з ЧПК (CNC) є верстат Jainnher моделі JHU – 2706CNC. Рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Загальний вид верстата Jainnher JHU – 2706CNC

Jainnher JHU – 2706CNC призначений для обробки зовнішніх, торцевих поверхонь деталей різної форми за допомогою шліфування. Шліфувальний шпиндель верстата встановлений на гідродинамічних підшипниках підвищеної точності. Це забезпечує максимальну жорсткість конструкції і стабільність роботи шпинделя. У разі виникнення нестачі мастила в порожнині шпинделя, відбувається зупинка обертання щоб уникнути зносу підшипників і рухливих частин. Тиск масляної плівки контакту в гідродинамічних підшипниках і безперервна примусова система змащування шліфувального шпинделя забезпечує функцію поглинання вібрації. Круглошліфувальний верстат має зручну систему наладки і управління, що дозволяє робити переналадку між однотипними деталями. Верстат оснащений системою ЧПК Fanuc Oi-Mate-TD з панеллю керування. [16] Схеми основних операцій та приклади циклів шліфування представлені на рис 3.6

4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ.

4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі.

Вал - деталь машини, призначена для передачі крутного моменту і сприйняття діючих сил з боку розташованих на ньому деталей і опор.[17]

Вузлом, в якому знаходиться досліджувана деталь є редуктор. Редуктором називається механізм, що передає і перетворює крутний момент, з однією або більше механічними передачами. Встановлений редуктор є циліндричним, одноступінчатий, з передатним числом 2. Редуктор з'єднується з двигуном відцентровою муфтою. Ескіз вузла представлений на рис. 4.1.

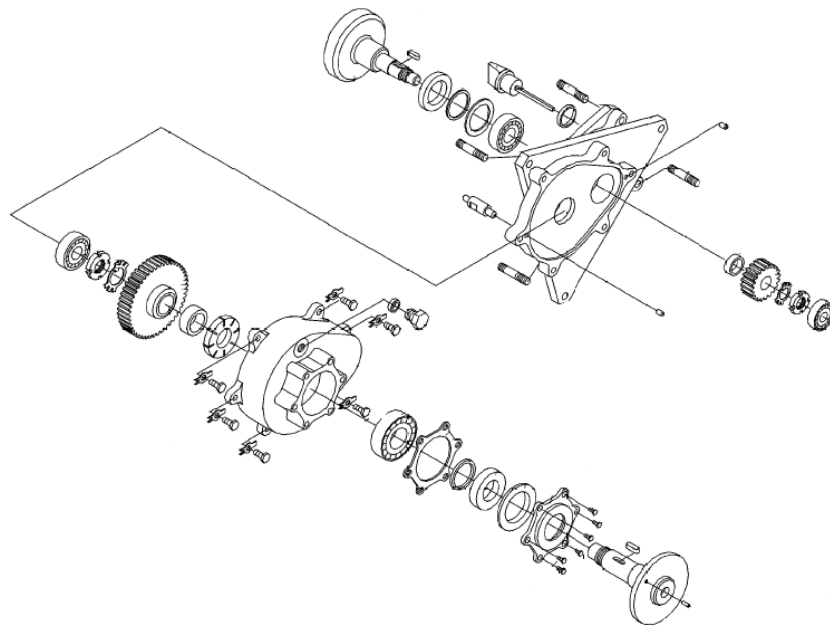


Рисунок 4.1 – Ескіз вузла

Розрахуємо напружено-деформований стан поверхонь деталі по першому варіанту.

Згідно умов роботи деталі у вузлі визначаємо напружено-деформований стан деталі «Вал». Першим кроком в здійсненні розрахунку на міцність є розбивання деталі на сітку кінцевих елементів. Рис. 4.2.

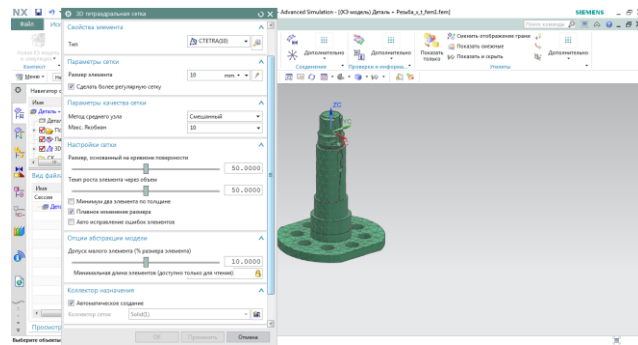


Рисунок 4.2 – Розбивання деталі на сітку кінцевих елементів

Закріплення деталі відбувається у місцях знаходження підшипникових опор за допомогою команди «Ограничение закрепления». Рис. 4.3.

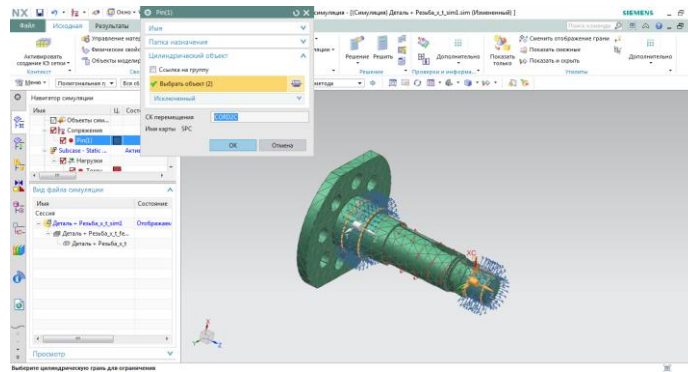


Рисунок 4.3 – Схема закріплення деталі «Вал»

До місця знаходження зубчастого колеса прикладаємо навантаження 3,9 Н·м крутного моменту. Рис. 4.4.

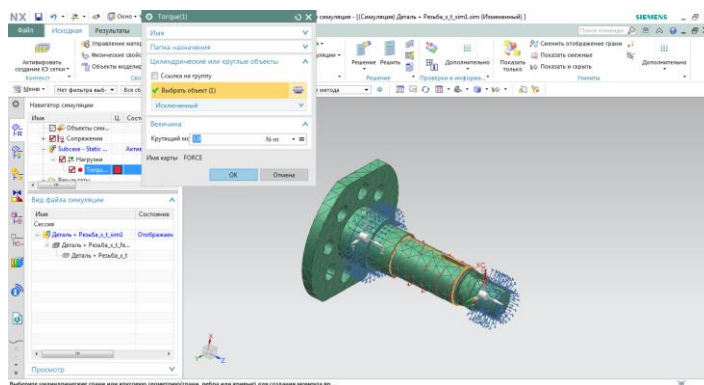


Рисунок 4.4 – Схема навантаження деталі «Вал»

Загальний вид навантаження та закріплення деталі «Вал» відображений на рис. 4.5.

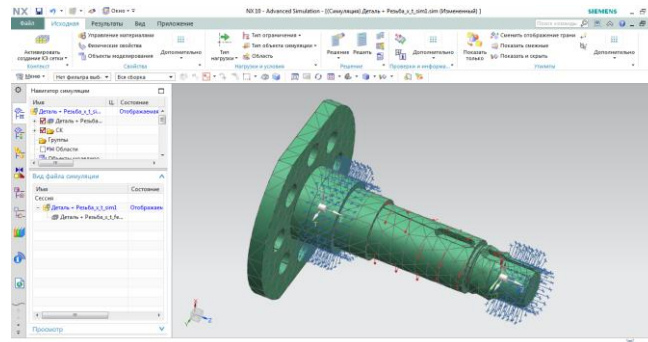


Рисунок 4.5 – Загальний вид навантаження та закріплення деталі «Вал»

Результат розрахунку деталі «Вал» зображений на рис. 4.6.

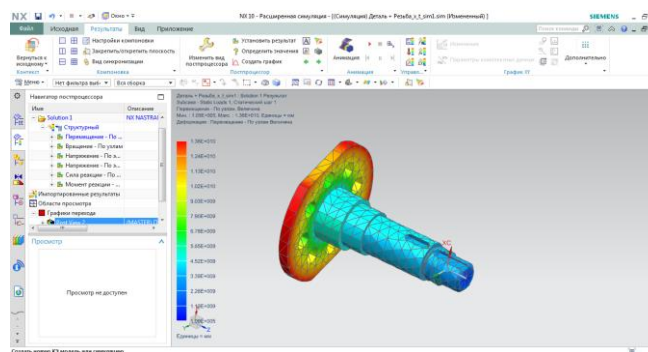


Рисунок 4.6 – Результат розрахунку

4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкцій.

Далі, розглянемо другий варіант конструкції, а саме, на консольній ділянці деталі «Вал» пропонується видалити різьблення М20 на циліндричній ділянці валу. Різьблення замінюємо на посадку з натягом. Напружено-деформований стан деталі «Вал» у вузлі визначаємо аналогічно п. 4.1 рис. 4.2– 4.6.

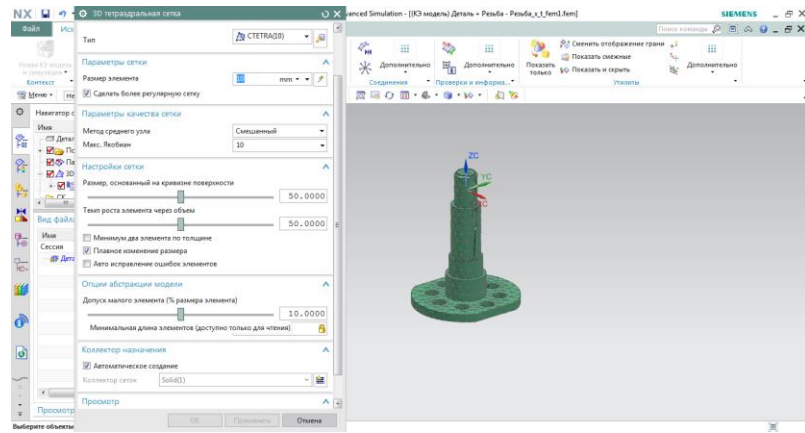


Рисунок 4.7 – Розбивання деталі на сітку кінцевих елементів

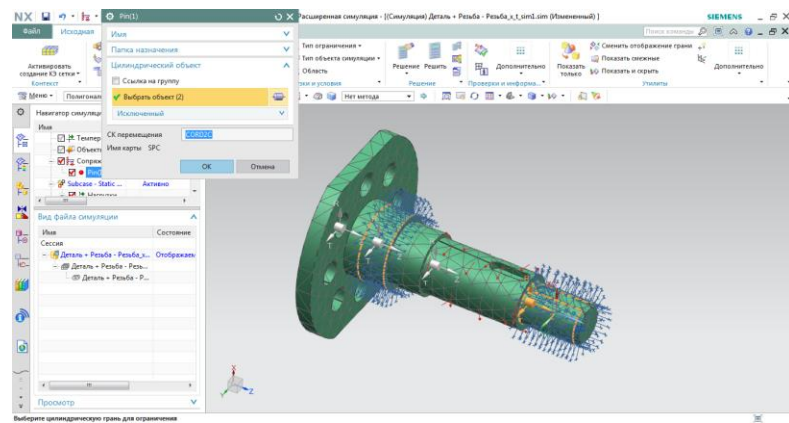


Рисунок 4.8 – Схема закріплення деталі «Вал»

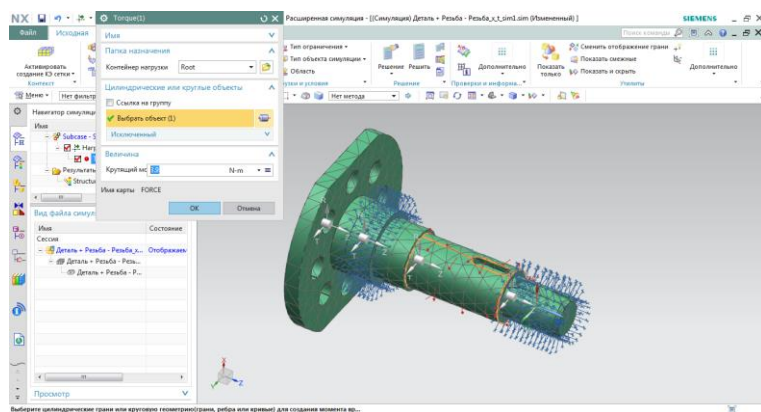


Рисунок 4.9 – Схема навантаження деталі «Вал»

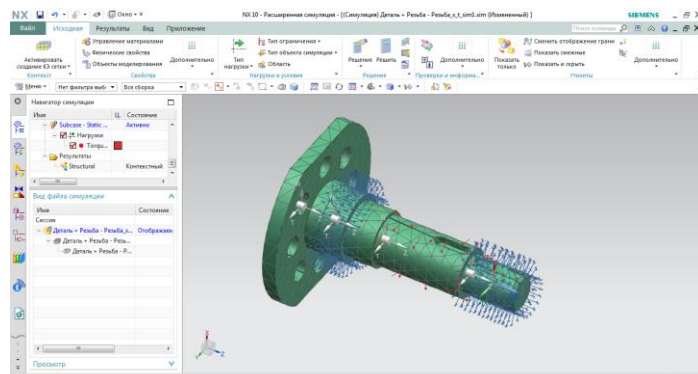


Рисунок 4.10 – Загальний вид навантаження та закріплення деталі «Вал»

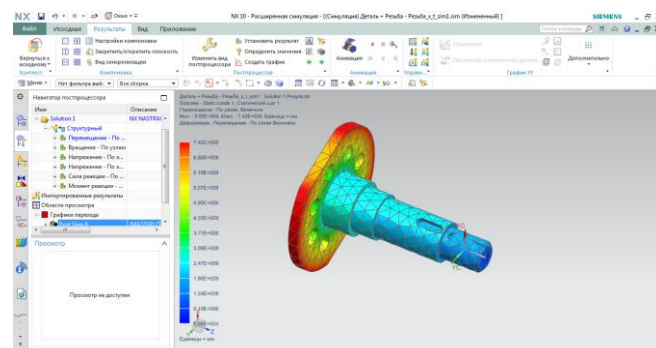


Рисунок 4.11 – Результат розрахунку деталі «Вал»

4.3 Оптимізація геометрії деталі

Отже, встановлено, що при першому конструктивному варіанті (розташування різьблення M20 на циліндричній ділянці валу) максимальне напруження при заданих умовах роботи деталі складає $1,36E+010$ МПа. Згідно другому конструктивному варіанті (видалення різьблення M20 на циліндричній ділянці валу та заміна його посадкою з натягом) максимальне напруження при заданих умовах роботи деталі складає $7,42E+009$ МПа.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що деталь «Вал» при той самій схемі закріплення і навантаження має менше значення напружень при другому конструктивному варіанті (видалення різьблення M20 на циліндричній ділянці валу та заміна його посадкою з натягом) ніж при першому конструктивному варіанту (розташування різьблення M20 на циліндричній ділянці валу).

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ВИКОРИСТАННЯ БЕЗАБРАЗИВНОЇ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ВАЛУ

5.1 Огляд методів фінішної обробки поверхонь

Фінішна обробка в машинобудуванні – це група заключних фінішних операцій обробки металів, в результаті яких досягається висока точність розмірів і форми деталей і поліпшується якість поверхні. При даному типі обробки застосовують різні види впливу на оброблювану поверхню: механічне (обробка різанням і тиском), електрохімічне і електрофізичних.

Найбільш поширеними методами фінішної обробки різанням із зняттям дрібної стружки: тонке точіння, розточування і фрезерування, тонке шліфування, притирання, полірування, хонінгування, суперфініш. Так, наприклад, тонке точіння використовується для остаточного формування якісних показників поверхні. Ним іноді замінюють шліфування. Призначення тонкого шліфування – обробка зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь при високих вимогах до точності розмірів і форми з одночасним вимогам високої чистоти поверхонь. Притирання – метод фінішної обробки поверхні, який служить для остаточної обробки попередньо відшліфованих поверхонь. Зовнішні циліндричні поверхні притирають притиром, на який попередньо наносять абразивний мікропорошок з маслом або спеціальну пасту. Застосовують абразивні пороші з електрокорунду, наждаку, окису хрому, окису заліза. Пасту для притирання, що складаються з абразивних порошків і хімічно активних речовин, прискорюють процес притирання, так як вхідні в них активні речовини утворюють на оброблюваній поверхні м'яку оксидну плівку, легко видаляється абразивними зернами. У ряді випадків застосовують шаржовані притири, в поверхню яких впроваджені абразивні частинки. [18]

Механізм процесу полірування можна звести до наступних трьох напрямків:

– механічне полірування – зніманням мікронерівностей з поверхневого шару, а хід процесу характеризується такими механічними властивостями матеріалу, як твердість і пластичність;

– фізичне полірування – коли основними причинами, визначальними процес полірування, вважають температуру плавлення і теплопровідність полірованого матеріалу;

– хімічне полірування – коли процес полірування пояснюється в основному зніманням оксидних плівок, які утворюються під дією навколишнього середовища.

Таким чином, ґрунтуючись на практичних спостереженнях, можна зробити висновок, що процес полірування являє собою комплекс механічних, фізичних, електричних та хімічних явищ, які тісно пов'язані і взаємозалежні, і окремо змінюються в більшу або меншу сторону в залежності від роду полірованого матеріалу, полірувального інструменту, режимів обробки і зовнішнього середовища.

Операція хонінгування призначається для доведення поверхонь отворів. Інструмент – хон, в процесі роботи, здійснює обертальний і зворотно–поступальний рух уздовж осі оброблюваного отвору, виправляючи неточність і нерівність поверхні. Точність при хонінгуванні в межах 5–го квалітету, шорсткість обробленої поверхні $Ra = 0,05 - 0,025$ мкм [18, 19].

Суперфінішування призначене в основному для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь. При доведенні зменшується шорсткість поверхні, але не виправляються її геометричні форми. В якості інструменту використовують головку з абразивними брусками. Робочі руху: обертання заготовки, поздовжнє пересування брусків і їх коливальний рух уздовж осі заготовки. Головний рух – коливальний рух головки з абразивним брусками з малим ходом (2–6мм) і значним числом подвійних ходів в хвилину від 400 до 1000. При суперфінішуванні кожне окреме зерно абразиву не проходить по одному і тому ж шляху.

Тиск абразивних брусків на оброблювану поверхню малий, внаслідок чого обробляється поверхня не нагрівається і відбувається тільки зрізання гребінців, що залишилися після попередніх операцій. Після знімання всіх гребінців процес припиняється. Зернистість брусків стандартизована. Охолоджуюча рідина (суміш гасу з маслом) одночасно служить мастильним матеріалом.

До фінішної обробки так само відносяться і методи обробки поверхонь без зняття стружки, які здійснюються в холодному стані впливом тиску без порушення суцільної структури матеріалу. Знаходять застосування такі методи як: вальцювання, калібрування, обкатка роликками та кульками,

дробоструйна обробка, в результаті яких зменшується шорсткість поверхні і відбувається її зміцнення (через поверхнево–пластичну деформацію).

Сутність цих методів полягає в тому, що деформуючий елемент притискається до поверхні виробу. В результаті пластичної деформації поверхневого шару збільшується твердість, утворюються стискають напруги, знижується шорсткість, що сприятливо впливає на ресурс деталей.

Електрофізичну і електрохімічну обробку, часто називають розмірної, застосовують найчастіше для фінішної обробки матеріалів, що не піддаються обробці різанням, а також для утворення складних контурів. Основні процеси, що відносяться до цього виду обробки: анодно–механічна обробка, електроіскрова обробка, електроімпульсна обробка. [19]

5.2 Устаткування для методів фінішної обробки поверхонь

У крупносерійному виробництві для тонкого точіння використовують особливо точні верстати, так як звичайні токарно–гвинторізні верстати не забезпечують виконання вимог, зазначених вище: вони не мають великих швидкостей і малих подач; при роботі на них зазвичай не вдається усунути вібрацій повністю. У сучасній промисловості використовують верстати лінійки FDB Maschinen Turner. Рис. 5.1.

Жорстка станина забезпечує високу точність обробки і міцність конструкції в цілому. Органи управління токарно–гвинторізного верстата розташовані ергономічно, завдяки чому забезпечується найкоротший термін адаптації обладнання в умови виробництва [20].



Рисунок 5.1 – Загальний вид верстата FDB Maschinen Turner

Верстат серії MIKROMAT 8V HSC базується на динамічно і статично оптимізованій конструкції порталного типу. Поєднання високоточних напрямків кочення з циркуляцією роликів гарантує на тривалий час високу точність обробки виробів. Лазерна система для автоматичного вимірювання інструменту і контролю цілостності інструмента та пристрій автоматичної зміни інструменту забезпечує швидку і точну зміну інструменту і розширює можливості верстата до прецизійного обробного центру [21]. Рис. 5.2.



Рисунок 5.2 – Загальний вид верстата MIKROMAT 8V HSC

Зубошевінговальний верстат Hartech HGS 4H-NC4 / 5 призначений для остаточної обробки циліндричних зубчастих коліс [22]. Рис. 5.3.



Рисунок 5.3 – Загальний вид верстата Hartech HGS 4H-NC4 / 5

Круглошліфувальний верстат виробництва фірми STUDER моделі RHU 500, призначений для чистової зовнішньої обробки циліндричних деталей в дрібно-, середньо- і крупносерійному виробництві шліфувальними абразивним кругом, що знімають з поверхні деталі тонкий шар металу. Ці круглошліфувальні верстати набули широкого поширення в багатьох галузях промисловості як верстати загального призначення [23]. Рис. 5.4.



Рисунок 5.4 – Загальний вид верстата STUDER RHU 500

Kemet Twin Lap M – це машина, що ідеально підходить для невеликих та середніх цехів для двостороннього притирання. Він підходить для притирання компонентів діаметром до 114 мм і товщиною до 30 мм. За певних обставин можуть бути розміщені великі компоненти. Ця конструкція дає оператору більш короткий доступ до пластини і легкий доступ під ним для обслуговування. Машина працює з абразивним з'єднанням, таким як карбід кремнію, оксид алюмінію або карбід бору, суспендованих у транспортному засобі на масляній або водяній основі або в алмазному з'єднанні. Машина також може бути оснащена алмазним дозуючим обладнанням та спеціальними додатковими пластинами. У всіх випадках операція притирання регулюється багатоканальним регульованим таймером або додатковим режимом DTI [24]. Рис. 5.5.



Рисунок 5.5 – Загальний вид верстата Kemet Twin Lap M

Vula BM 365 – спеціальний верстат призначений для полірування, чищення та зняття задирок різних форм і матеріалів. Його основними перевагами є:

- 3 робочі агрегати $\varnothing 200/35 \times 75$ мм;
- швидкий випуск з щітковим захистом;
- оснащення Siemens Simatic S7 – програмований логічний контролер для управління таблицею X – Z і A (опціональна вісь Y);
- 8 шпинделів заготовки – 4 шпинделів з регульованою швидкістю і напрямком обертання, 4 фіксованими.
- можливість роботи з безперервно обертовим або індексованим режимом [25]. Рис. 17.



Рисунок 5.6 – Загальний вид верстата Vula BM 365

Sunnen SV-2400 Series призначений для хонінгування отворів має корпус з нержавіючої сталі, забезпечує чисте робоче середовище та забезпечує безпеку оператора. Доступні декілька конфігурацій шпинделя. Гнучка модульна конструкція дозволяє легко налаштувати для конкретного застосування. Прецизійний шпиндель з високим обертовим виходом забезпечує високу якість отвору. Ротаційна система подачі та чудовий вибір інструментів (GHSS; GHTS; PH; CV / CK; P20/P28; MPS) забезпечують надзвичайно точні отвори. Додатковий столик T-Slot та додатковий підйомний каркас дозволяють отримати оптимальну універсальність. Має систему SIEMENS 840 D. Шлях вертикальних та горизонтальних напрямних забезпечує високу продуктивність і тривалий, безпроблемний термін служби. Автоматична система змащення є стандартною для критичних компонентів [26]. Рис. 5.7.



Рисунок 5.7 – Загальний вид верстата Sunnen SV-2400 Series

Supfina cenpro 720/3 – верстат призначений для суперфінішування. Оснащений системою ЧПУ SIEMENS 840 D. Дозволяє оброблювати заготовки максимальним діаметром до 200 мм, довжиною 800 мм та вагою до 22,5 кг [27]. Рис. 5.8.



Рис. 5.8 – Загальний вид верстата Supfina cenpro 720/3

5.3 Пропозиції для обробки деталі

Застосування сучасних машин і механізмів, що працюють на великих швидкостях та зі значними навантаженнями, вимагає від конструкторів і технологів рішення проблеми підвищення терміну їх служби та, відповідно, терміну служби окремих деталей, що входять до складу машин і механізмів.

Якість поверхневого шару є одним з найголовніших чинників, що визначають довговічність деталей машин і механізмів. Ретельно оброблена загальновідомими способами поверхня деталей, що є носієм залишкових макро – і мікронапруг, втомних макро– і мікротріщин, шаржованих зерен абразиву і інших дефектів. Для підвищення міцності і зносостійкості деталей необхідно застосовувати методи обробки, що покращують фізичні властивості, структуру і мікрогеометрію поверхні [28].

Об'єктом дослідження в даній роботі є деталь «Вал». Поверхня 1 деталі (рис. 5.9) оброблюється з точністю $\text{Ø}30\text{e}8\left(\begin{smallmatrix} -0.040 \\ -0.073 \end{smallmatrix}\right)$ та шорсткістю $Ra\ 0,4$ та слугує для подальшого встановлення ущільнюючої манжети.

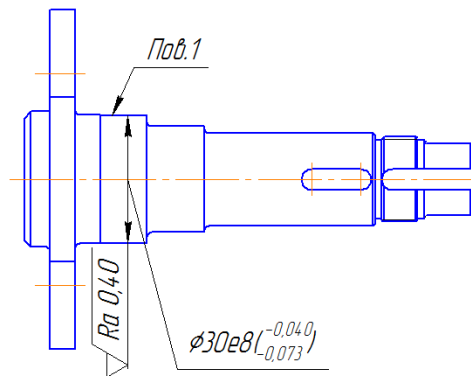


Рисунок 5.9 – Ескіз об'єкта дослідження

Данні показники точності та якості поверхні можуть бути досягнуті виключно фінішними методами обробки. В технологічному процесі обробки данної деталі пропонується використання прогресивного методу, а саме, безабразивної ультразвукової фінішної обробки (БУФО).

Відмінною особливістю БУФО від інших відомих методів пластичного деформування є значна швидкість деформації. При такому динамічному впливі на метал змінюються його механічні властивості: збільшується втомна міцність, межі плинності і міцності, опір зносу на стирання, коефіцієнт відбиття світла; зменшуються відносні подовження і звуження, електропровідність, магнітна проникність, теплопровідність, коефіцієнт загасання поверхневих звукових хвиль; збільшується корозійна стійкість [28].

Принцип роботи полягає в наступному: ультразвукова коливальна система (УЗКС) закріплюється в різцеутримувачі універсального токарного верстата або в патроні вертикально-фрезерного верстата, після чого твердосплавний індендор циліндричної або бочкообразної форми притискається до заготовки зі статичним зусиллям 50...250 Н. Потім включаються електропривод руху верстата і ультразвуковий генератор, який генерує високочастотні 15...40 кГц і низькоамплітудні 5 ... 50 мкм коливання акустичної головки і відбувається процес пластичного деформування поверхневого шару металу. При цьому для зменшення адгезійної складової тертя в зону обробки подається змазувально-охолоджуюча рідина [29].

Процес ультразвукової обробки характеризується наступними факторами (рис. 5.10):

1. Формою і радіусом r робочої частини інструменту, мм.
2. Амплітудою коливань індендора, $2A$.

3. величиною сили притиску інструменту до деталі $P_{ст}$, кгс.
4. величиною динамічного впливу P , Н.
5. подачею S , мм / оборот.
6. числом проходу інструменту i .
7. окружної чи лінійною швидкістю заготовки V , м / хв.
8. застосовуваної змазуючо–охолоджувальної рідиною [29].

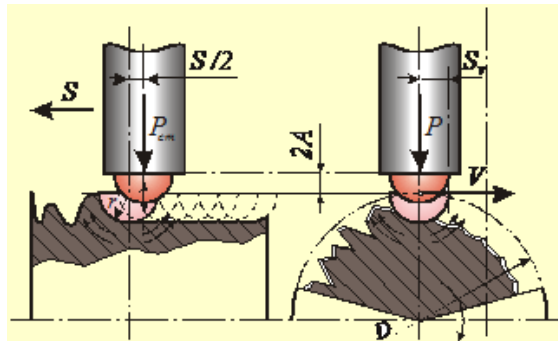
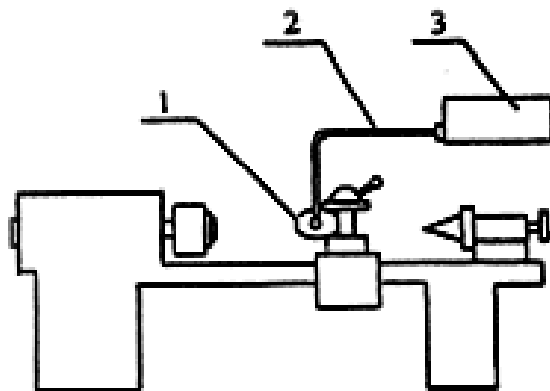


Рисунок 5.10 – Схема поверхневого пластичного деформування при безабразивній ультразвуковій фінішній обробці.

На рис. 5.11 показана орієнтовна схема розміщення комплексу на токарному верстаті.



1 – акустична головка; 2 – з'єднуючий кабель; 3 – генератор.

Рисунок 5.11 – Схема розміщення комплексу на токарному верстаті

На рис. 5.12 показана схема БУФО в якості устаткування для токарного верстата.

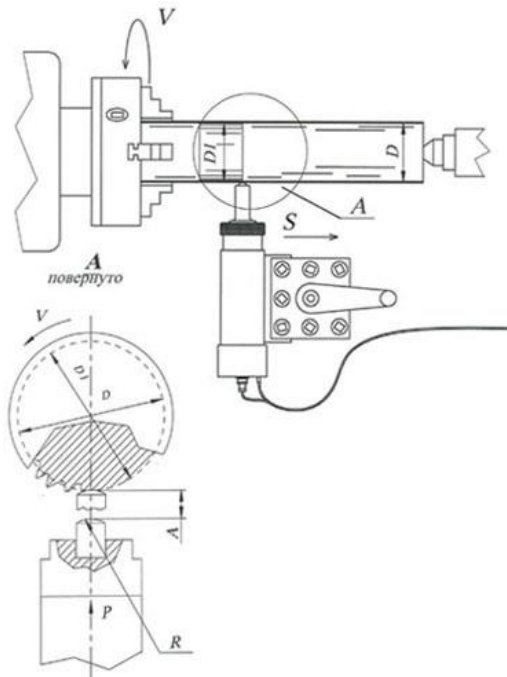


Рисунок 5.12 – Схема БУФО в якості устаткування для токарного верстата.

На рис 5.13 показано загальний вигляд пристрою для безабразивної ультразвукової фінішної обробки ИЛ 4–0,63.



Рисунок 5.13 – Загальний вигляд пристрою для безабразивної ультразвукової фінішної обробки ИЛ 4–0,63

Пристрій для безабразивної ультразвукової фінішної обробки (рис. 5.14) складається з баку охолодження 1, корпусу 2, хвилеводу 3, обмотка

перетворювача 4, державки 5, кільця ущільнювача 6, гайки 7, індентору 8, штуцера 9 та гермовводу 10.

Ультразвуковий перетворювач являє собою сердечник з магнітного матеріалу – пермендюра, який виготовлений у вигляді пластин 11, розміщених в обмотці 4, та призначений для створення механічних коливань ультразвукової частоти в резонансній системі перетворювач – хвилевід – індентор. Він кріпиться до фланцю хвилеводу 3 за допомогою накидної гайки 7. Бак 1 являє собою пустотілий циліндр, який виконує роль кожуху, через який прокачується рідина, наприклад вода або змазуючо–охолоджуюча рідина. Підведення рідини здійснюється штуцером 9.

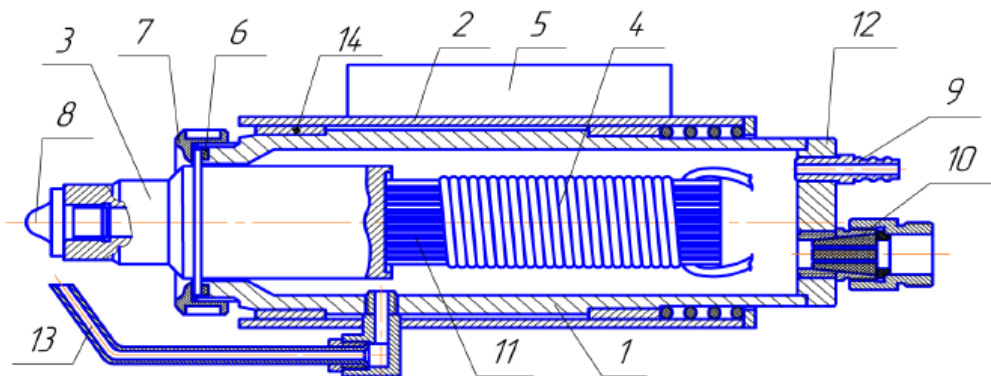


Рисунок 5.14 – Пристрій для безабразивної ультразвукової фінішної обробки

Робоче напруження ультразвукової частоти на обмотку 4 магнітострикційного перетворювача подається по гермовводу 10, розташованому на кришці 12. Охолоджуюча рідина з баку 1 зливається по трубці 13, при цьому рідина може подаватися в зону обробки для охолодження індентора 8. Бак 1 розташований в корпусі 2 з можливістю переміщення за віссю інструмента. В якості підшипників ковзання використовуються латунні втулки 14 [30].

Безпосередній вид процесу безабразивної ультразвукової фінішної обробки вказаний на рис. 5.15



Рисунок 5.15 – Процес безабразивної ультразвукової фінішної обробки

Унікальність технології БУФО полягає в тому, що після обробки поверхні металу зростає твердість поверхневого шару, в залежності від вихідної на 10 – 150 %, з'являється можливість отримання шорсткості поверхні до 10 – 12 класу ($Ra = 0,04\text{--}0,1$ мкм), підвищується втомна міцність на 10 – 200 %, збільшується опорна поверхня до 80 – 90 %, неокруглість геометрії деталі знижується на 25 – 30 %. За умови твердого точіння деталі використання БУФО виключає необхідність застосування шліфувальних верстатів. Таким чином стає реальною технологія обробки деталі без зняття з центрів, тобто без вдавання до переустановлення, відповідно, виключається внутришньоцехове транспортування деталей.

Так само завдяки БУФО зростає продуктивність праці в кілька десятків разів. Більш того, стала можливою одночасна обробка деталі різанням і ультразвуком. При цьому технологія звільняється від абразиву, повсті, притиральних паст і важкої ручної роботи. Відбувається тотальна економія виробничих площ і електроенергії, відпадає необхідність в кваліфікованих фахівцях – шліфувальниках. При крупносерійному і масовому виробництві можлива і доцільна автоматизація і роботизація процесу. Застосування даної технології дозволяє 2–3 рази збільшити міжремонтні терміни двигунів, верстатів, компресорів, насосів тощо.

За допомогою обладнання БУФО можна обробляти більшість відомих марок сталі, алюмінію, міді та інших металів. Обробляються різні конструктивні форми деталей: циліндричні, зовнішні і внутрішні поверхні,

торцьові, конічні і кульові поверхні, різні виступи, прямокутні і радіальні канавки [30].

Після застосування даного способу поліпшення поверхневого шару деталей окрім зазначених вище результатів мали такий ефект [31]:

1. Товщина наклепу може бути до 0,1 мм, в окремих випадках можливо реалізувати режим холодної проковки з товщиною наклепу до 15 – 20 мм.

2. Оптимально поєднуючи статичну і динамічну складову сили ультразвукової обробки, можна перевищити межу плинності оброблюваного металу, і, тим самим, проводити корекцію геометрії оброблюваної деталі.

3. Межа контактної витривалості підвищується на 10 – 20%.

4. Відсутність шаржованих в поверхню зерен абразиву збільшує до 2 разів термін служби сполучених деталей (пар ковзання, ущільнювачів сальників, сальникової набивки тощо), регулярний мікрорельєф підвищує властивість утримання обробленою поверхнею мастильних матеріалів; регулярний мікрорельєф додатково знижує знос при зворотньо–поступальному характеру руху відносно один одного, що сполучаються деталей [30].

Як було сказано раніше, акустична голівка може встановлюватися в різцетримачі токарного верстата або патроні вертикально–фрезерного верстата. У зв'язку з цим, для операції по обробці деталі необхідно задати режими різання. Режими різання для безабразивної ультразвукової фінішної обробки деталей типу тіла обертання з різних матеріалів представлені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Режими різання для безабразивної ультразвукової фінішної обробки деталей типу тіл обертання з різних матеріалів [32]

№	Матеріал	Частота обертання, об / хв	Подача, мм / об
1	2	3	4
1	20X23H18	500	0,05
2	40X13	800	0,05
3	08X18H10T	350	0,05
4	14X17H20	400	0,05
5	20X13	300	0,05
6	45X14H19B2M	800	0,05
7	12X18H10T	500	0,05
8	45X33MH2	500	0,05

Продовження таблиці 5.1

9	45X2M	500	0,05
10	X12	400	0,125
11	30XГСА	600	0,075
12	ХВГ	500	0,05
13	09ГВС	500	0,05
14	0ХНЗМФА	500	0,075
15	10ХН	600	0,05
16	СТ35	400	0,075
17	СТ45	400	0,05
18	СЧ–20	400	0,175
19	АМЦ	500	0,125
20	ЛС–59	350	0,075

На рис. 5.16 наочно представлено, як при збільшенні робочої подачі значення параметра шорсткості поверхні збільшується.

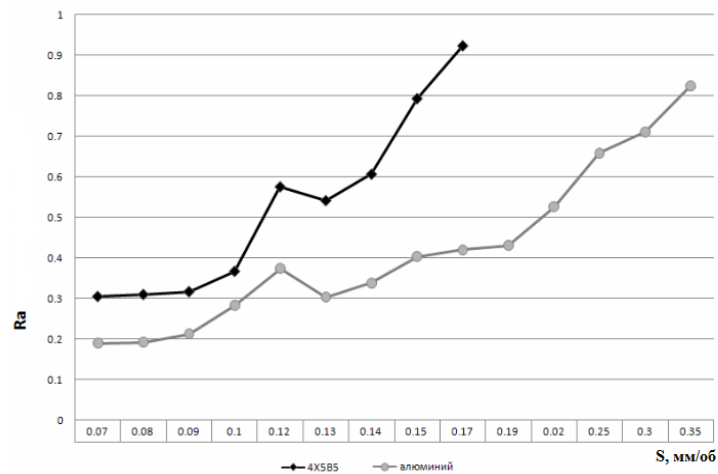


Рисунок 5.16 – Графік зміни шорсткості після обробки БУФО при зміні робочої подачі

На рис. 5.17 показано вплив зміни лінійної швидкості при обробці БУФО на шорсткість поверхні. Експериментальним шляхом було встановлено зменшення значення параметра шорсткості, при зменшенні числа обертів.

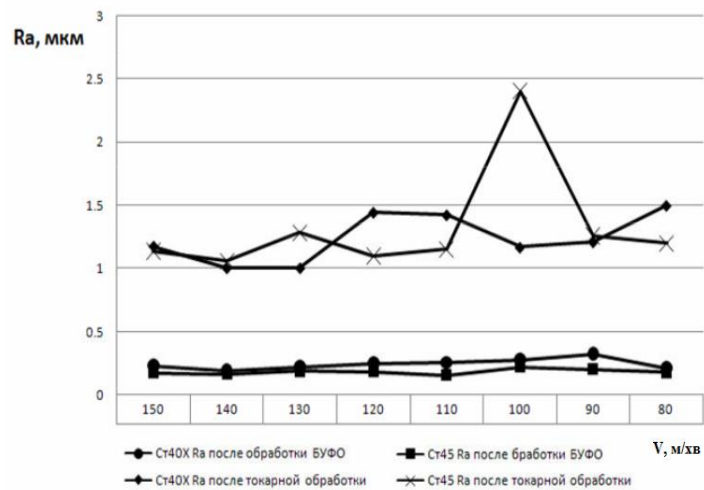
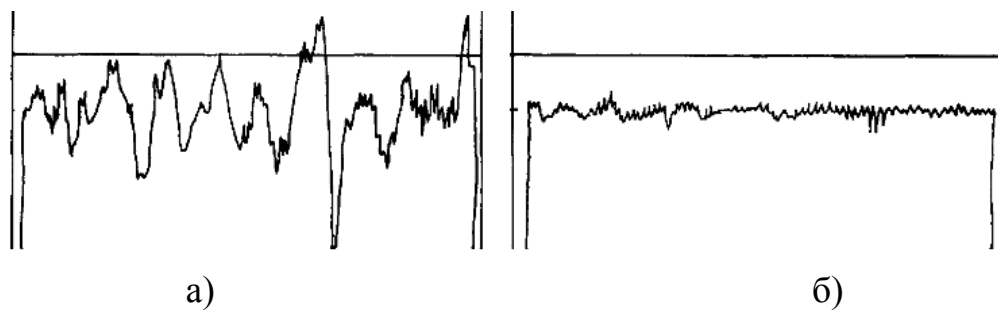


Рисунок 5.17 – Графік зміни шорсткості після обробки БУФО при зміні лінійної швидкості. [32]

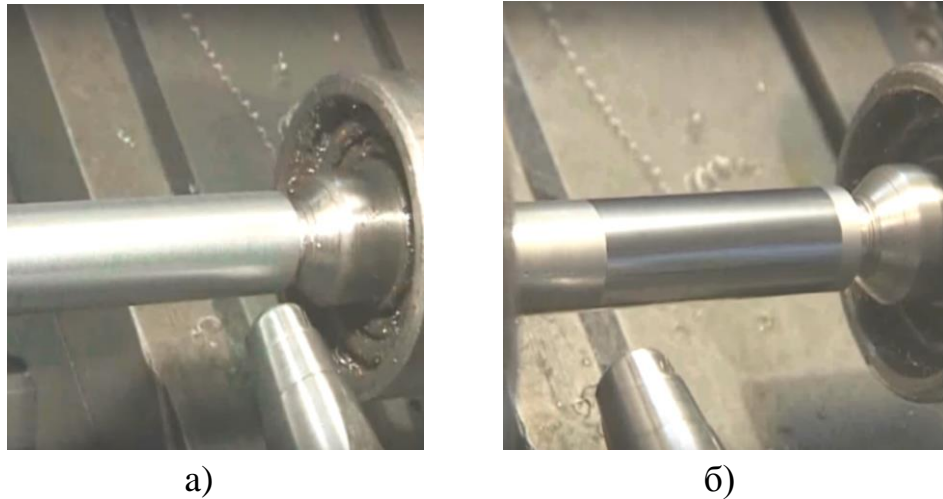
Для порівняння якості поверхні після механічної обробки твердосплавними пластинами та БУФО представлено профілографи. (Рис. 9)



а – профілограма дослідницької деталі після механічної обробки.
б – профілограма дослідницької деталі після БУФО.

Рисунок 5.18 – Профілограми дослідницької деталі

На рис 5.19 показано стан поверхні після механічної обробки та БУФО на дослідницькій деталі.

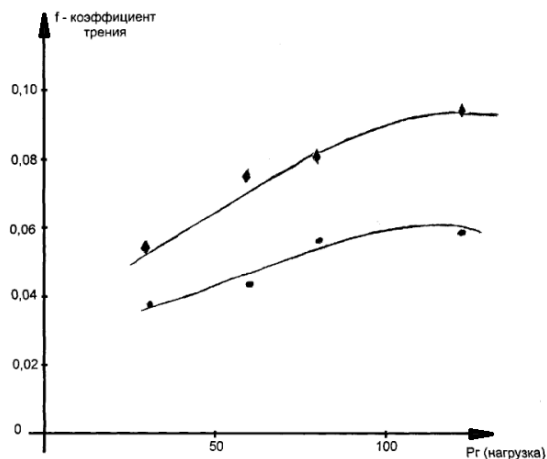


а – Стан поверхні після механічної обробки.

б – Стан поверхні після БУФО

Рисунок 5.19 – Стан поверхні деталі після механічної обробки та після БУФО

Для порівняння якості поверхні після механічної обробки та ультразвукової обробки дослідницької деталі представлені криві залежності коефіцієнта тертя від рівня навантаження. Рис. 5.20 [33].



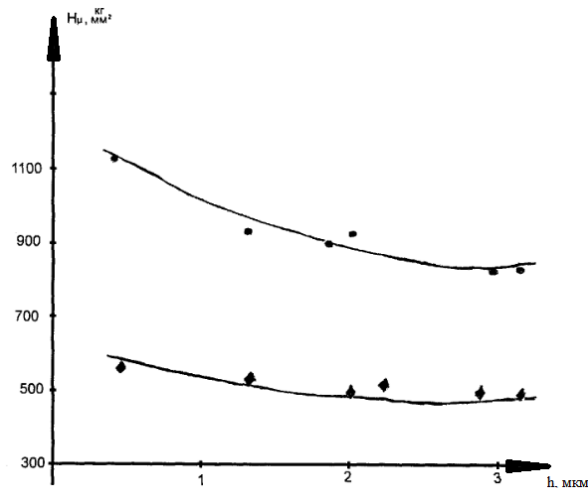
▲ – крива залежності коефіцієнта тертя після механічної обробки.

● – крива залежності коефіцієнта тертя після БУФО

Рисунок 5.20 – Криві залежності коефіцієнта тертя від рівня навантаження деталі

Прикладаючи більше навантаження до деталі отримуємо зростання коефіцієнта тертя.

Для остаточного порівняння якості поверхні після механічної обробки та ультразвукової обробки дослідницької деталі представлені криві залежності мікротвердості. Рис. 5.21 [33].



- ▲ – крива залежності мікротвердості деталі після механічної обробки;
- – крива залежності мікротвердості деталі після БУФО.

Рисунок 5.21 – Криві залежності мікротвердості деталі

З кривих залежностей на рис. 5.22 можна зробити висновок, що під час безабразивної ультразвукової фінішної обробки мікротвердість деталі поліпшується [33].

Отже, беручи до уваги інформацію, яка виклади вище, можна зробити висновок про те, що застосування безабразивної ультразвукової фінішної обробки є доцільним в порівнянні зі шліфуванням та іншими методами фінішної обробки деталей.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ

Для розрахунку економічної частини запропоновано виконати порівняння з двох варіантів токарних операцій: 1 – токарна обробка на верстаті 1М63Б та 2 - токарна обробка на верстаті MDW 20М вибираємо найбільш ефективний з точки зору собівартості.[34] Ескіз обробки показано на рис. 6.1.

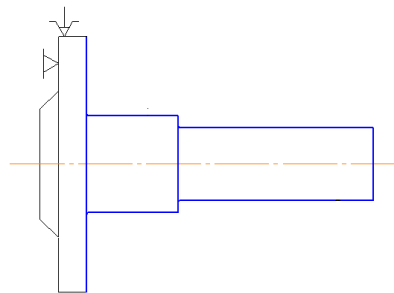


Рисунок 6.1 - Ескіз токарної обробки

Визначаємо такт випуску за формулою, хв:

$$\tau = \frac{F_a \cdot 60}{N}, \quad (6.1)$$

де F_a – дійсний річний фонд роботи обладнання, год [34, с. 92].

Виконуємо розрахунки за формулою (6.1)

$$\tau = \frac{4015 \cdot 60}{1500} = 160,6 \text{ хв.}$$

Розраховуємо кількість верстатів для токарної обробки (1) та токарної обробки ЧПК (2) за формулою, шт:

$$n_p = \frac{t_{ум-к}}{\tau}, \quad (6.2)$$

де $t_{ум-к}$ – штучно-калькуляційний час операції, хв.

Виконуємо розрахунки за формулою (6.2):

$$n_{\rho 1} = \frac{7,14}{160,6} = 0,044 \text{ шт.}$$

$$n_{\rho 2} = \frac{4,19}{160,6} = 0,026 \text{ шт.}$$

Розраховуємо заробітну плату робочих за формулою, коп/хв.:

$$Z_p = Z_T \cdot K_n, \quad (6.3)$$

де Z_m – тарифна хвилинна заробітна плата робочого (прийнятого у проекті розряду) з урахуванням начислень діючих на базовому підприємстві. [34, т. 2.18, с. 94];

K_n – коефіцієнт перевиконання норми [34, с. 93].

Виконуємо розрахунки за формулою (6.3)

$$Z_{p1} = 1,414 \cdot 1,2 = 1,697 \text{ коп/хв.}$$

$$Z_{p2} = 0,912 \cdot 1,2 = 1,09 \text{ коп/хв.}$$

Розраховуємо заробітну плату наладчиків за формулою, коп/хв.:

$$Z_n = Z_T \cdot K_n, \quad (6.4)$$

де Z_m – тарифна хвилинна заробітна плата наладчика з урахуванням начислень діючих на базовому підприємстві. [34, т. 2.18, с. 94];

K_n – коефіцієнт перевиконання норми [34, с. 93].

Виконуємо розрахунки за формулою (6.4):

$$Z_{n1} = 1,414 \cdot 1,2 = 1,697 \text{ коп/хв.}$$

$$Z_{n2} = 1,414 \cdot 1,2 = 1,697 \text{ коп/хв.}$$

Розрахуємо норму витрат на електроенергію за формулою, коп/год:

$$E = \frac{N \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot C_e}{60}, \quad (6.5)$$

де N – потужність верстата, кВт

K_1 – коефіцієнт, що враховує використання електродвигунів за потужністю.[34, т. 2.19, с. 94]

K_2 – коефіцієнт, що враховує використання електродвигунів за часом.[34, т. 2.19, с. 94]

C_e – вартість 1 кВт/год електроенергії у діючий час, коп.

Виконуємо розрахунки за формулою (6.5):

$$E_1 = \frac{15 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 224}{60} = 16,8 \text{ коп/год.}$$

$$E_2 = \frac{16 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 224}{60} = 33,45 \text{ коп/год.}$$

Розрахуємо витрати на амортизацію обладнання за формулою, коп

$$A = \frac{A_r \cdot 100}{F_o \cdot 60}, \quad (6.7)$$

де A_r – нарахування на амортизацію за рік, коп.

Розрахуємо нарахування на амортизацію за рік за формулою, коп

$$A_r = \frac{\alpha_1 \cdot 1,15Ц}{100}, \quad (6.8)$$

де α_1 – відсоток відрахувань від балансної вартості обладнання [34, с. 92]

$Ц$ – ціна обладнання, грн

Виконуємо розрахунки за формулою (6.8):

$$A_{r1} = \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 135000}{100} = 23287,5 \text{ коп.}$$

$$A_{r2} = \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 137500}{100} = 23718,75 \text{ коп.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (6.7):

$$A_1 = \frac{23287,5 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 9,67 \text{ коп.}$$

$$A_2 = \frac{23718,75 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 9,84 \text{ коп.}$$

Розрахуємо витрати на обслуговування обладнання за формулою, коп

$$O = \frac{O_r \cdot 100}{F_o \cdot 60}, \quad (6.9)$$

де O_r – нарахування на обслуговування за рік, коп.

Розрахуємо нарахування на обслуговування за рік за формулою, коп

$$O_r = \frac{\alpha_2 \cdot 1,15C}{100}, \quad (6.10)$$

де α_2 – відсоток відрахувань від балансної вартості обладнання [34, с. 92];

Виконуємо розрахунки за формулою (6.10):

$$O_{r1} = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 135000}{100} = 776,25 \text{ коп.}$$

$$O_{r2} = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 137500}{100} = 790,625 \text{ коп.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (6.9):

$$O_1 = \frac{776,25 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,32 \text{ коп.}$$

$$O_2 = \frac{790,625 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,32 \text{ коп.}$$

Розрахуємо витрати на ремонт обладнання за формулою, коп:

$$P = \frac{P_r \cdot 100}{F_o \cdot 60}, \quad (6.11)$$

де P_r – нарахування на ремонт за рік, коп

Розрахуємо нарахування на ремонт за рік за формулою, коп

$$P_r = \frac{\alpha_3 \cdot 1,15Ц}{100}, \quad (6.12)$$

де α_3 – відсоток відрахувань від балансної вартості обладнання [34, с. 92].

Виконуємо розрахунки за формулою (6.12):

$$P_{r1} = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 135000}{100} = 6986,25 \text{ коп.}$$

$$P_{r2} = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 137500}{100} = 7115,625 \text{ коп.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (6.11):

$$P_1 = \frac{6986,5 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 2,9 \text{ коп.}$$

$$P_2 = \frac{7115,625 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 2,95 \text{ коп.}$$

Визначаємо витрати на інструмент за довідковою літературою [34, т. 2.20, с. 94].

Для токарної обробки в обох варіантах обираємо різці, оснащені твердим сплавом, для чистового проходу $I_T = 0,092$ грн.

Визначаємо витрати на пристосування за довідковою літературою [34, т. 2.21, с. 95].

Для токарної обробки в обох варіантах спеціальних пристосувань не передбачено.

Розраховуємо технологічну собівартість для кожного варіанту операції за формулою, коп:

$$C_i = (Z_{pi} + Z_{ni} + E_i + \Pi_i + I_i + A_i + O_i + P_i) \cdot t_{\text{умк}i}. \quad (6.13)$$

Виконуємо розрахунки за формулою (6.13):

$$C_1 = (1,697 + 1,697 + 16,8 + 0 + 0,092 + 9,67 + 0,32 + 2,9) \cdot 7,14 = 236,876 \text{ коп.}$$

$$C_2 = (1,09 + 1,697 + 33,45 + 0 + 0,092 + 9,84 + 0,32 + 2,95) \cdot 4,19 = 207,149 \text{ коп.}$$

Розраховуємо економічний ефект очікуваний при впровадженні токарного верстата з ЧПК (MDW 20M) замість токарного верстата з ручним керуванням (1М63Б) за формулою, грн:

$$E_e = (C_1 \Pi + E_1 \Pi_1 n_1) - (C_2 \Pi + E_2 \Pi_2 n_2), \quad (6.14)$$

де E – нормативний коефіцієнт ефективності [34, с. 91]

Виконуємо розрахунки за формулою (6.14)

$$E_e = (2,36876 \cdot 1500 + 0,15 \cdot 135000 \cdot 1) - (2,07149 \cdot 1500 + 0,15 \cdot 137500 \cdot 1) = 70,905 \text{ грн.}$$

Проведений аналіз розрахунків економічної ефективності можна висновок, що технологічна собівартість токарної операції на верстаті 1М63Б складає 236,876 грн., а на верстаті з ЧПК MDW 20 М – 207,149 грн. Економічний ефект від впровадження верстата з ЧПК MDW 20М замість 1М63Б складає 70,905 грн.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Аналіз потенційних небезпек

Згідно отриманого завдання проводимо аналіз потенційних небезпек для механообробного цеху. За ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» потенційні небезпеки за природою дії поділяються на:

1. Фізичні небезпеки.
2. Хімічні небезпеки.
3. Біологічні небезпеки.
4. Психофізіологічні небезпеки.

До категорії фізичних небезпек у механообробному цеху відносять:

1. Рухомі частини виробничого устаткування, виробів, заготовок, які можуть призвести до захоплення частин одягу та/або волосся у зв'язку з недотриманням техніки безпеки при відповідних роботах;

2. Стружка і осколки інструментів, які утворюються при обробці деталі на відповідному обладнанні без застосування засобів індивідуального захисту та захисних огорожень;

3. Високі температури, що нагрівають інструмент та зону різання при різанні металів та переходять у стружку та інструмент можуть викликати дискомфорт та опіки при безпосередньому контакті людини з нагрітими елементами ;

4. Висока напруга в силовій електричній мережі (380 W) та наявність статичної електрики, які можуть призвести до електротравм та різкого ураження електричним струмом;

5. Підйомно-транспортні роботи під час яких можливе падіння виробу, що може призвести до механічних травм.

До категорії хімічних у механообробному цеху небезпек відносять:

1. Шкідливі пари та гази, які утворюються від випаровування змащувально-охолоджуючої рідини, які постійно вдихає оператор устаткування.

До категорії біологічних небезпек у механообробному цеху відносять:

1. Мікроорганізми, які знаходяться у відпрацьованій змащувально-охолоджуючій рідини, які можуть викликати захворювання шкіри.

До категорії психофізіологічних небезпек відносять:

1. Перенапруження зору, що призводить до суттєвого порушення функціонування сенсорної системи людини;

2. Монотонність праці, яка викликає зниження рівня показників серцево-судинної системи, центральної нервової системи та уповільнення реакції.

Небезпеками санітарно-гігієнічного характеру при аналізі механообробного цеху є:

1. Вібрація і шум, які спричиненні промисловим устаткуванням, що можуть привести до професійних захворювань робітників та емоційних розладів.

2. Наявність металевого та абразивного пилу в робочій зоні може викликати у робітників захворювання верхніх дихальних шляхів.

3. Ненормована освітленість робочої зони може спричинити зниження уваги, погіршення гостроти зору та втомленості.

Небезпеками пожежного характеру при аналізі механообробного цеху є:

1. Коротке замикання елементів електрики та електроніки, що може призвести до оплавлення та загоряння устаткування.

2. Недотримання техніки безпеки під час операцій промивки у гасі, що тягне за собою вірогідність виникнення пожежі.

Небезпеками пов'язані з проявом наслідків надзвичайних ситуацій при аналізі механообробного цеху є:

1. Недостатня кваліфікованість персоналу при утворенні позаштатних ситуацій, які загрожують їх життю та здоров'ю.

7.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Комплексний підхід з урахуванням організаційної та технічної сторони розробки заходів для забезпечення безпеки є ключовим фактором для мінімізації промислового травматизму. Розглянемо більш детально основні заходи по забезпеченню техніки безпеки для вище вказаних пунктів у підрозділі аналізу потенційних небезпек.

Основними заходами по забезпеченню фізичної безпеки у механоскладальному цеху є проведення навчально-методичної роботи з персоналом для дотримання правил при виконанні відповідних робіт на виробничому устаткуванні згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення

про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» Обов'язковим до виконання є ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці засоби індивідуального захисту», що передбачає порядок носіння та правильне використання спеціального одягу для відповідних операцій, що мінімізує механічні травми

Для запобігання виникнення травм пов'язаних зі стружкою та осколками інструментів проводимо регулярну навчально-методичну роботу у вигляді інструктажів та стажування персоналу для дотримання правил при виконанні відповідних робіт з інструментом під час отримання стружки згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». Застосування засобів індивідуального захисту, спецодягу за ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці засоби індивідуального захисту» та захисних огорожень згідно ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож» (EN ISO 14120:2015, IDT; ISO 14120:2015, IDT) є обов'язковою умовою зниження промислового травматизму на підприємстві.

Зниження високих температур у зоні різання досягаємо при використанні змащувально-охолоджуючої рідини застосування якої обговорюються у НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». Використовуємо НПАОП 0.00-1.68-13 «Про затвердження правил охорони праці під час холодного оброблення металів» та визначеним технологічним процесом передбачаємо використання відповідних змащувально-охолоджуючих рідин для попередження руйнування інструменту та отримання механічних травм.

Для зменшення випадків ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу проводимо навчально-методичну роботу з персоналом для дотримання правил електробезпеки, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». Згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ» для кожної електроустановки передбачаємо відповідне заземлення для вирівнювання потенціалів та автоматичне відключення ланки пошкодженої мережі. Приймаємо у механообробному цеху напругу частотою 50 Гц. Та електрообладнання характеризується як електроустановки до 1000 В, тому величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання

приміщення з ПК у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом. У відповідності до ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту» передбачаємо подвійне ізолювання струмопровідних частин. Користування відповідним спецодягом за ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці засоби індивідуального захисту» та ДСТУ EN 61140:2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання» є обов'язковим для екіпірування робітників, які займаються відповідною роботою з електроустановками [35].

Зниження травматизму під час підйомно-транспортних робіт застосовуємо досягаємо за рахунок проведення регулярної методичної та навчальної роботи з персоналом для дотримання правил проведення підйомно-транспортних робіт, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» Беручі до уваги НПАОП 0.00-1.80-18 «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідйомних кранів, підйомних пристроїв та відповідного обладнання» та ДСТУ EN 13155:2018 «Крани вантажопідйомні. Вимоги щодо безпеки. Пристрої вантажозахоплюючі знімні» для попередження травматизму та аварій виконуємо оснащення підйомно-транспортних механізмів запобіжними і блокувальними пристроями.

Основними заходами для попередження хімічних небезпек у механоскладальному цеху є проведення навчальної роботи з персоналом для дотримання правил при користуванні змащувально-охолоджуючої рідиною згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». Згідно ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож» (EN ISO 14120:2015, IDT; ISO 14120:2015, IDT) та наявність місцевої вентиляції за ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»

Забезпеченню біологічної безпеки у механоскладальному цеху досягаємо за рахунок проведення навчально-методичної роботи з персоналом для дотримання правил при користуванні змащувально-охолоджуючою рідиною згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» Згідно НПАОП 0.00-1.68-13 «Про затвердження правил охорони праці під

час холодного оброблення металів» приймаємо устаткування для фільтрування відпрацьованої змащувально-охолоджуючої рідини на основі барабану з тканини, який дозволяє видалити бактерії, які викликають захворювання шкіри та появу неприємних запахів.

Основними заходами по забезпеченню психофізіологічних безпеки у механоскладальному цеху рекомендуємо проведення навчальної роботи з персоналом для дотримання правил гігієни праці згідно ДСТУ OHSAS 18001:2010 «Системи управління гігієною і безпекою праці». Освітленість робочої зони та її забезпечення приймаємо відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» та встановлюємо LED-лампи м'якого світлення. Для зниження монотонності праці, приймаємо зміна періодів праці та перерви, виконання гімнастичних вправ, раціональна організація всього технологічного процесу.

Під час розробки проекту цеху необхідно максимально раціонально використовуємо ДБН В.2.2-28-2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» та ДБН В.2.2-9-2018 «Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення». Орієнтовна площа устаткування та рекомендована відстань між верстатами в залежності від його габаритів показана в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Орієнтовна площа устаткування та рекомендована відстань між верстатами в залежності від його габаритів

Категорія верстата	Габаритні розміри, мм	Орієнтовна площа, м ²	Відстань між верстатами, мм
Дрібні верстати	1800 x 800	10– 12	1300
Середні верстати	4000 x 2000	15 – 25	1500
Великі верстати	8000 x 4000	30 – 45	1800

Ширину цехових проходів та проїздів приймаємо при розробці проекту цеху 4500 мм та 2000 мм.

У відповідності до ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір» проходи та проїзди цехів та ділянок позначаються розмежувальною лінією білого кольору не менше 100 мм. Проходи та проїзди, а також люки колодязів є вільними та не засмічені елементами, що мінімізує можливість виникнення травм та забезпечує швидку евакуацію.

Для укладення матеріалів, деталей та готових виробів передбачаємо відповідні за габаритами та масою ящики та стелажі. Висоту штабелів заготовок на робочому місці встановлюємо не вище 1м., ширину між штабелями визначаємо не менше 0,8м. Роботи проводимо у відповідності до ДСТУ 2890-94 «Тара і транспортування. Терміни і визначення.»

Все устаткування встановлюється на фундаменті, згідно паспорту та інструкції з експлуатації для забезпечення мінімальної вібрації у приміщенні виробничого цеху.

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці розробляються відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу».

До санітарно-гігієнічних умов відносять механообробного цеху відносять:

1. Мікрокліматичні умови та їх забезпечення;
2. Освітленість робочої зони та її забезпечення;
3. Рівень шуму в робочій зоні;
4. Виробничі вібрації.

Розглянемо більш детально вище вказані санітарно-гігієнічні умови механообробного цеху.

Мікрокліматичні умови та їх забезпечення приймаємо згідно ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Визначаємо допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень. Табл. 7.2

Таблиця 7.2 – Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія Робіт	Температура, С°		Відносна вологість(%) на робочих місцях- постійних і непостійних	Швидкість руху (м / с) на робочих місцях- постійних і непостійних
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний	ІІб	21-23	15-13	75	Не більше 0,4
Теплий	ІІб	27-29	15-13	70 – при 25 С°	0,5-0,2

Основними заходами для дотримання санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень приймаємо:

При обробці сталі 30 ХГСА ГОСТ 4543-71 утворюється дрібнодисперсний пил. Концентрація пилу в робочій зоні механообробного цеху не перевищує 6 мг/м³. У зв'язку з цим оснащуємо робочі місця місцевою вентиляцією.

При наявності замкнених і невеликих приміщень де виконується операторські роботи встановлюємо системи кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається.

Використовувати засоби індивідуального захисту для забезпечення допустимих гігієнічних нормативів.

Для забезпечення оптимального рівня параметрів повітряного середовища виробничого середовища в передбачено систему водяного опалення приміщення для забезпечення необхідної температури повітря в холодний період року відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». У зв'язку з виникненням дрібнодисперсного пилу задля забезпечення норм відведення повітря передбачаємо наявність місцевої вентиляції за ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»

Освітленість робочої зони та її забезпечення приймаємо відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення». Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств представлені в таблиці 7.3

Таблиця 7.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характеристика роботи	Розміри Об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорових робіт	Освітленість, лк		
				Комбіноване		Загальне
				Всього	У т.ч. від загального	
Середньої точності	0.5-1 включно	IV	А	750	200	300
			Б	500	200	200
			В	400	200	200
			Г	-	-	200

У виробничих приміщеннях використовують комбінацію з природного та штучного освітлення. Штучне освітлення складається з робочого, аварійного, охоронного і чергового.

Для природного освітлення приймаємо сонцезахисні пристрої у вигляді спеціальних світловідбивних екранів та жалюзі, що перерозподіляють світловий потік в глибину приміщення.

Для освітлення механообробного цеху використовуємо найбільш економічні розрядні джерела світла та світлодіодні лампи та світильники. Місцеве освітлення робочих оснащуємо регуляторами освітлення.

Аварійне освітлення складається евакуаційного та резервного освітлення. Евакуаційне освітлення підрозділяється на: освітлення шляхів евакуації, антипанічне освітлення і освітлення зон підвищеної небезпеки.

Для аварійного освітлення передбачаємо світлодіодні джерела світла, люмінесцентні лампи та розрядні лампи, за умови їх повторного запалювання, зі значенням яскравості будь-якої зони кольорової поверхні знаків безпеки не менше 2 кд/м^2 у всіх напрямках.

Освітленість охоронного освітлення встановлюємо не менше ніж 0,5 лк на рівні землі в горизонтальній площині або на рівні 0,5 м від землі.

Для охоронного освітлення можуть використовувати будь-які джерела світла. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», область застосування, величини освітленості, рівномірність та вимоги до якості для чергового освітлення не нормуються.

Заходи для контролю рівня шуму в робочій зоні механообробного цеху приймаємо згідно вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Так, за нормативом рівень шуму у приміщенні виробничого цеху має становити до 85 дБ. Для робітників технічних відділів рівень шуму 65 дБ.

Основними джерелами шуму більшості металорізальних устаткувань є приводи, електродвигуни, різальний інструмент, пневмо- і гідросистеми. Для зменшення шуму електродвигунів металорізальних верстатів розміщуємо їх у звукоізолюючих кожухах. Боротьба із шумом, що виникає при взаємодії різального інструмента з оброблюваною заготовкою, має значні труднощі, оскільки зменшення інтенсивності режимів різання знижує продуктивність устаткування.

Внутрішні поверхні приміщення цеху механічної обробки облицьовуємо звуковідбивними матеріалами. Для відгородження найбільш гучного устаткування чи ділянок від сусідніх робочих місць застосовуємо акустичні екрани - перешкоди обмежених розмірів, що зменшують рівень прямого звуку від джерела шуму.

Заходи для попередження виробничих вібрацій встановлюємо згідно ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

Основними шляхами зниження вібрації на діючому металорізальному устаткуванні приймаємо:

Своєчасне проведення ППР устаткування;

Дотримання системи СПД при обробці деталей.

Забезпечуємо якісне змащення вузлів рухливих елементів устаткування;

Для зниження високочастотної вібрації устаткування передбачаємо наявність гумових килимків.

Для зменшення вібрації тонкостінних металевих конструкцій устаткування наносимо вібродемпфуюче покриття.

Для віброгасіння металорізальне устаткування встановлюють на спеціальні фундаменти з можливістю віброгасіння та віброізоляції.

7.4 Заходи з пожежної безпеки

Згідно методичних вказівок написання пункту « Заходи з пожежної безпеки » виконується відповідно до НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

У відповідності до ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні механообробного цеху можливе виникнення пожежі класу А – пожежа, яка супроводжується горінням

твердих речовин, пожежі класу D - пожежа, яка супроводжується горінням металів та пожежі класу E – горіння електроустановок, що перебувають під напругою електричного струму.

Беручі до уваги, ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухо-пожежною та пожежною безпекою», визначаємо, що приміщення механообробного цеху належить до категорії Д з пожежної безпеки – негорючі речовини та матеріали в холодному стані.

Ступінь вогнестійкості будинків і споруд визначають відповідно до вимог ДБН В.1.1.7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», у залежності від категорії виробництва з пожежної безпеки. Виходячи з прийнятої категорії Д з пожежної безпеки приймаємо II ступінь вогнестійкості. Характеристика II ступеню вогнестійкості показана в табл. 7.4

Таблиця 7.4 - Характеристика II ступеню вогнестійкості

Частини будівель і споруд	Ступінь вогнестійкості II	
	Група займистості	Межа займистості
Несучі і самонесучі стіни, стіни сходових клітин	Незгораємі	2,5 год.
Заповнення між стінами	Незгораємі	0,25 год.
Поєднані перекриття	Незгораємі	0,25 год.
Міжповерхові і горищні перекриття	Незгораємі	1 год.
Перегородки (не несучі)	Незгораємі	0,25 год.
Протипожежні стіни (брандмауери)	Незгораємі	4 год.

У разі виникнення пожежі у приміщенні механообробного цеху відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені евакуаційні виходи через вхідні двері та в'їзні ворота, по обидві сторони приміщення. Згідно вибраної категорії приміщення та ступеня вогнестійкості будівлі за СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу назовні або сходовій клітці не перевищує 70 м.

У відповідності до вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в механообробному цеху в залежності від категорії приміщення встановлено комплексну систему оповіщення про

пожежу та управління евакуацією людей «Тромбон» (тип 1), яка передбачає наявність сигналів пожежної тривоги, різних за тональністю сиренами, ревун, дзвінки, які повідомляють про спрацьовуванні датчиків диму та теплових сповіщувачів; необхідності терміново евакуюватися з приміщення, яке захищає установка АПС, а потім з будівлі або споруди до безпечного місця. Також на території цеху повинні знаходитися пожежні щити, пожежні кран-комплекти, блискавковідводи.

7.5 Модернізація процесу полірування за допомогою ультразвуку

Згідно дипломного завдання була поставлена задача для заміни ручного полірування ділянки деталі «Вал».

Полірування — механічна або ручна кінцева обробка виробів, що надає їхній поверхні високої чистоти і дзеркального блиску. Для проведення полірування застосовуються спеціальні тонкі абразивні матеріали разом з допоміжними речовинами (олеїн, церезин і ін), що мають полірувальний склад або пастою. Найбільш часто застосовують пасти ГОІ. Для полірування застосовують як природні, так і синтетичні речовини і їх головною особливістю є надзвичайно малі розміри абразивного зерна, які досягають розміру від 0,05 до 50 мк. [36]

У зв'язку з застарілістю даного метода та малою продуктивністю було прийнято рішення для його заміни на прогресивний та більш технологічний — безабразивна ультразвукова фінішна обробка. Принцип її роботи полягає в наступному: ультразвукова коливальна система (УЗКС) закріплюється в різцеутримувачі універсального токарного верстата або в патроні вертикально-фрезерного верстата, після чого твердосплавний індентор циліндричної або бочкообразної форми притискається до заготовки зі статичним зусиллям 50...250 Н. Потім включаються електропривод руху верстата і ультразвуковий генератор, який генерує високочастотні 15...40 кГц і низькоамплітудні 5 ... 50 мкм коливання акустичної головки і відбувається процес пластичного деформування поверхневого шару металу.

Провівши аналіз небезпечних та шкідливих факторів при поліруванні отримуємо такі данні:

1. Механізми обертання, у вигляді полірувального круга можуть призводити до різного ступеня механічних травм.

2. Підвищена концентрація дрібнодисперсного пилю у робочій зоні викликає захворювання органів дихання та проблем із зором.

3. Висока температура інструменту та деталі, яку оброблюють, може привести до отримання опіків різного ступеня важкості.

4. Ненормований рівень шуму на індивідуальному робочому місці може призводити до виникнення захворювань слухового апарату.

5. Високе значення електричної напруги (380 W), яке може призвести до електротравм різного характеру [38].

Безабразивна ультразвукова фінішна обробка, окрім технологічної переваги над ручним поліруванням, має і перевагу зі сторони питання охорони праці. Даний вид обробки дозволяє виключити небезпечні та шкідливі фактори згадані вище за рахунок:

1. Хвилевід при БУФО встановлюється у різцетримач, який у свою чергу знаходиться у закритій зоні за допомогою огорожень та екранів які виконані із звукоізолюючого матеріалу (сталь, дюраль-алюміній, технічне скло, текстоліт) , що виключає контакт з інструментом та деталлю;

2. За рахунок фізики та механіки процесу досягається відсутність запиленість робочої зони.

3. Операція БУФО здійснюється з застосуванням достатньої кількості змащувально-охолоджуючій рідини, що запобігає виникненню травм термічного характеру.

4. Ультразвукові коливання, які генерує установка для БУФО відповідають нормам згідно ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Аналізуючи вище згаданий нормативний документ визначаємо, що ультразвук під час БУФО класифікується як низькочастотний, коливання якого передаються людині повітряним та контактним шляхом (від $1,2 \cdot 10^4$ до $1,0 \cdot 10^5$ Гц). Вимірювання ультразвуку, який поширюються контактним шляхом, проводиться шляхом визначення пікового значення віброшвидкості на поверхнях, призначених для контакту з руками оператора та на відстані 5 см від його вуха. Вимірювання проводимо інтерферометром у точці максимального випромінювання не менше 3-х разів.

Допустимий рівень ультразвукових тисків в октавних смугах наведено у табл. 7.5 [37].

Таблиця 7.5 - Допустимий рівень ультразвукових тисків в октавних смугах

Середньгеометрична частота октавних смуг, кГц	16	31,5	63 та вище
Допустимі рівні тиску, дБ	88	106	110

Максимальна величина ультразвуку у зонах, призначених для контакту рук оператора з робочими органами приладів та устаткування, протягом 8 годин робочого дня, не повинно перевищувати параметри, що вказані в табл. 7.6 [39].

Таблиця 7.6 – Допустимі параметри ультразвуку

Параметр, що нормується	Допустима величина
Віброшвидкість	$1,6 \cdot 10^{-2}$ м/с
Логарифмічний рівень віброшвидкості	110 дБ
Інтенсивність	0,1 Вт/см

Проаналізувавши вищевказані данні визначаємо, що БУФО генерує вище ніж середній рівень ультразвуку, але згідно ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» він знаходиться у нормативних показниках.

5. Дроти, що з'єднують хвилевід та перетворювач та інші струмопровідні елементи мають подвійну ізоляцію згідно ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту». [38]

Отже, виходячи з аналізу небезпечних і шкідливих факторів для фінішної обробки деталі «Вал» з технологічної сторони питання та питання охорони праці на виробництві приймаємо операцію із застосуванням безабразивної ультразвукової фінішної обробки.

7.6 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях. Інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості виробничих об'єктів до впливу ударної хвилі

Для написання вище вказаного розділу, безпосереднім викладачем-консультантом кафедри «Охорона праці і навколишнього середовища», мені було видане таке індивідуальне питання: «Інженерно-технічні заходи,

спрямовані на підвищення стійкості виробничих об'єктів до впливу ударної хвилі». Проведемо об'єктивний аналіз цього питання.

Інженерно-технічний комплекс будь-якого підприємства включає в себе будівлі і споруди, технологічне обладнання та комунікації електромережі, тепломережі, водопровід, каналізацію та газопровід. Розглянемо більш детально, які заходи проводяться для підвищення надійності елементів виробничих об'єктів [38].

Перше, на що звернемо увагу, в нашому аналізі будуть заходи для підвищення стійкості будівель та споруд. Від стійкості будівель і споруд залежить в основному стійкість всього об'єкта. Доцільне підвищення стійкості будівель і споруд до дії ударної хвилі вважається таке, при якому отримані підприємством руйнування дають можливість його виправданого відновлення. Інколи підвищувати стійкість всіх будівель і споруд не слід, так як це пов'язано з великими матеріальними витратами, які не завжди будуть виправданими. Головним чином, слід підвищувати міцність найбільш важливих елементів виробництва, від яких залежить робота всього підприємства, але стійкість яких нижче загальної межі стійкості.

Підвищення стійкості будівель і споруд досягається установкою додаткових зв'язків між несучими елементами, каркасів, рам, підкосів, застосування опор для зменшення прогону несучих конструкцій та використання більш міцних матеріалів [38].

Низькі споруди, для підвищення їх стійкості, частково обсыпаються ґрунтом. Такий спосіб підвищення стійкості може застосовуватися для напівпідвальних приміщень і споруд.

Високі споруди (труби, вишки, вежі, колони) закріплюються ливновими отосами, розрахованими на навантаження, яке утворюється від напору повітря ударної хвилі ядерного вибуху.

Захист ємностей для зберігання легкозаймистих рідин і сильнодіючих отруйних речовин може здійснюватися облаштуванням підземних сховищ, заглибленням їх в ґрунт або обвалуванням, а збільшення механічної міцності ємностей - встановленням ребер жорсткості. Під час обвалування висота земляного валу розраховується на отримання повного об'єму рідини, яка витікає зі зруйнованої ємності.

Друге, на що звернемо увагу, в нашому аналізі будуть заходи для захисту технологічного обладнання. Надійно захистити технологічне обладнання від ударної хвилі майже неможливо тому, що доводити міцність

будівель цеху до захисних властивостей економічно необґрунтовано. Захист обладнання є необхідним коли обладнання є важким у відновленні або є унікальним і його необхідно зберегти для подальшого використання. Для уникнення пошкодження обладнання уламками конструкцій, які зруйновано, потрібно раціонально компонувати його при об'ємно-плановому рішенні підприємства [38].

Останнє, на що звернемо увагу, в нашому аналізі будуть заходи для підвищення надійності постачання електроенергії, пари, води та газу.

Система електропостачання є визначальною на промисловому підприємстві. Підвищення стійкості цієї системи досягається проведенням як загальноміських, так і об'єктних інженерно-технічних заходів. При підключенні підприємства від місцевої енергосистеми лінії електропередач доцільно підводити з двох напрямлень. При неможливості підключення від двох джерел електропостачання на випадок виходу з ладу основного джерела необхідно передбачати автономне джерело живлення. Перехід на живлення від аварійних електростанцій повинен здійснюватися автоматично без припинення подачі енергії споживача. Електроенергія на промислові підприємства повинна подаватися по підземним кабельним лініям. Для запобігання виходу з ладу електричних мереж слід встановлювати пристрої автоматичного відключення при утворенні перенапруження, яким можуть бути створені електромагнітними полями, що виникають при ядерному вибуху [38].

На об'єктах народного господарства газ може використовуватися в якості палива і для технологічних цілей. Стійкість газопостачання підвищується проведенням як загальноміських інженерно-технічних заходів так і на об'єктах. При пошкодженні джерел газопостачання або газопроводів на великих підприємствах рекомендується мати підземні ємності-газгольдери постійного обсягу. Газові мережі прокладаються під землею і підводяться до об'єкту з двох напрямків. Паралельні газопроводи з'єднуються між собою, а вся система газопостачання закріплюється, що дозволяє відключати пошкоджені ділянки і використовувати збережені лінії. Для запобігання виникнення вторинних вражаючих факторів при руйнуванні газових мереж потрібно обладнати їх пристроями для автоматичного відключення ділянок газопроводу. На газопроводах слід встановлювати запірну арматуру з дистанційним управлінням і крани, які автоматично переключають потік газу при розриві труб [38].

Стійкість роботи промислових об'єктів визначається також стійкістю систем паро- і теплопостачання. Промислові об'єкти повинні мати два джерела пара і тепла зовнішній (ТЕЦ) і внутрішній (місцеві котельні). Котельні необхідно розміщувати в підвальних приміщеннях або в спеціальних окремо розташованих захищених спорудах. Теплова мережа закільцьовується, паралельні ділянки з'єднуються. Трубопроводи прокладаються під землею в спеціальних траншеях, що забезпечують захист труб від впливу ударної хвилі. На паротеплових мережах встановлюються запірно-регулюючі пристосування, які повинні розміщуватися в оглядових колодязях на території, що не завалюється при руйнуванні будівель.

Важливе значення має створення стійкої системи водопостачання об'єкта. Промисловий об'єкт повинен забезпечуватися водою не менше ніж від двох джерел. Одне з джерел повинно бути підземним. Воно є повинно бути надійним, тому що має меншу схильність до можливого руйнування від ударної хвилі та зараження радіоактивними отруйними речовинами. В якості підземного джерела, може бути використана артезіанська свердловина. Або водойма, від якої підведено водопровід з водозабірними очисними спорудами з автономними джерелами енергії. Крім того, на промислових об'єктах споруджують і завчасно заповнюють резервуари водою. Артезіанські свердловини, резервуари з запасом чистої води і шахтні колодязі повинні пристосуватися для роздачі води в пересувну тару і захищені від радіоактивного, хімічного бактеріологічного зараження. При будівництві нових мереж водопостачання необхідно зберегти всі існуючі трубопроводи головні споруди в якості резервних. При цьому має бути забезпечено використання нових водопроводів не тільки для господарських та виробничих потреб, але і для гасіння пожеж [38].

Для підвищення стійкості каналізації об'єкта, слід влаштовувати роздільні системи каналізації: одну для зливових, іншу для промислових і господарських вод. В системі каналізації необхідно обладнати не менше двох випусків у міські колектори. На випадок аварій на міських мережах і насосних станціях система каналізації об'єкта повинна мати аварійні скиди в розташовану поблизу річку (струмок, яр) або в дощову мережу. Для скидання будуються колодязі з аварійними засувками, які встановлюються на об'єктових колекторах через 50 м на території, яку не завалюють [38].

ВИСНОВОК

В ході виконання дипломного проекту було розглянуто та виконано наступне.

Проведена розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Вал».

Визначено метод отримання заготовки та призначені припуски для отримання заготовки. Розраховано режими різання та технічне нормування на вказані операції згідно методичних вказівок.

Розроблено 3D модель деталі та заготовки, проведено симуляцію механічної обробки в програмі Siemens NX CAM. Спроектовані робоче та контрольне пристосування дозволяють пришвидшити процес обробки шпонкових пазів та модернізувати процес контролю радіального биття.

Виконано автоматизацію шліфувальної операції за допомогою застосування шліфувального верстата з ЧПК.

Проведено виконання спеціального завдання на тему: «Підвищення якості поверхні методом безабразивної ультразвукової фінішної обробки» та запропоновано використання даного методу в ТП обробки деталі «Вал».

В програмі NX CAM деталь була досліджена на міцність, після чого був запропонований варіант поліпшення геометрії деталі для вдосконалення роботи у вузлі.

В економічному розділі визначили найбільш економічно вигідний верстат для шліфувальної операцій.

У частині охорони праці був проведений аналіз механобробного цеху на потенційні небезпеки та методи боротьби з ними. Розроблено комплекс заходів для попередження ураження ультразвуком.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки для виконання практичних занять з дисциплін «Технологічні основи машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» та спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітніх програм «Металорізальні верстати та системи» і «Колісні та гусеничні транспортні засоби» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / НУ «Запорізька політехніка»; уклад. Н.В.Гончар. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 85с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. т. 1 : справочник / [А.Г. Косилова и Р.К. Мещерякова.]; под общ. ред. А.Г. Косиловой. – М : Машиностроение, 1985. – 656 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. т. 2 : справочник / [А.Г. Косилова и Р.К. Мещерякова.]; под общ. ред. А.Г. Косиловой. – М : Машиностроение, 1985. – 496 с.
4. Баранчиков В.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: монография / В.И. Баранчиков, А.В.Жаринов, Н.Д. Юдина. – М : Машиностроение, 1990. – 400с.
5. Стружестрах Е.И. Справочник нормировщика машиностроителя, т. 2: монография Е.И. Стружестрах. – М : Машиностроение, 1961. – 892с.
6. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологічна оснастка» для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Запоріжжя. НУ «Запорізька політехніка»; укл. О. Б. Козлова, Н. В. Гончар, Є. В. Вишнепольський. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 46 с.
7. Богуслаев В.А. Станочные приспособления: монография / В. А. Богуслаев, В. А. Леховицер, А. С. Смирнов. – Запорожье: ОАО «Мотор-Сич», 2004 – 461 с.
8. Зиятдинов Р. Р. Автоматизированная система контроля шероховатости поверхности: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и

производствами / Зиятдинов Рустем Раисович ; Набережные Челны, КФУ. – Набережные Челны, 2003. – 158 с.

9. Макеев А. В. Анализ современных методов исследования шероховатости поверхности деталей / А. В. Макеев, В. С. Айрапетян // Вестник СГУГИТ. – Новосибирск : СГУГИТ, 2014. – Вып. 4 (28). – С.80–86.

10. Пронин А. И. Исследование влияния параметров обработки на шероховатость поверхности деталей из закаленной стали 40Х при точении режущей керамикой / А. И. Пронин, В. В. Мыльников, Е. А. Чернышов // Известия высших учебных заведений / Нижний Новгород. НГАСУ. – Москва: Машиностроение, 2017. – Вып. 8 (689). – С. 41–45.

11. Чигиринский Ю. Л. Возможность оценки геометрических параметров микрорельефа поверхности бесконтактным методом / Ю. Л. Чигиринский, А. П. Гонтарь // Известия ВолгГТУ. – Волгоград: ВолгГТУ, 2016. – Вып. 14 (193). – С.40–42.

12. Терган В. С. Шлифование на круглошлифовальных станках : монография / В. С. Терган, Л. Ш. Доктор. – М.: Высшая школа, 1983. – 248 с.

13. Этингоф М. И. Автоматический размерный контроль на металлорежущих станках : монография / М. И. Этингоф ; Смоленск. Смоленский филиал НИУ «МЭИ». – М.: АПР, 2016 – 336с.

14. Автоматизация процессов в машиностроении: монография / [А. П. Белоусов, А. И. Дащенко, П. М. Полянский, А. В. Шулешкин]. – М.: Высшая школа, 1973. – 456 с.

15. Локтева С.Е. Станки с программным управлением и промышленные роботы : монография / С.Е. Локтева. – М: Машиностроение, 1986 – 320 с.

16. Шліфувальний верстат JHU-2706CNC [Електронний ресурс] : Каталог устаткування компанії Bateх. – Електронні текстові данні. – Режим доступу: <https://bateх.ua/spip/article374>, вільний. – (дата звернення: 20.11.2019). – Назва з екрана.

17. Гулиа Н. В. Детали машин : монография / Н. В. Гулиа, В. Г. Клоков, С. А. Юрков. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. — С. 416.

18. Схиртладзе А.Г. Станочник широкого профиля : монография / А.Г. Схиртладзе. - М.: Высшая школа, 1989. – 404 с.

19. Данилевский В. В. Технология машиностроения : монография / В. В. Данилевский. – Москва: Высшая школа, 1984. – 416 с.

20. Токарно-гвинторізний верстат FDB Maschinen Turner [Електронний ресурс] : Каталог устаткування компанії Demix. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <https://demixstanki.com.ua/katalog/metalloobrabotka/tokarnye/tokarno-vintoreznyj-standok-fdb-maschinen-turner-360x1000-320x1000-detail>, вільний. – (дата звернення: 20.11.2019). – Назва з екрана.

21. Координатно-расточной станок и обрабатывающий центр Mikromat 8v hsc [Електронний ресурс] : Каталог устаткування компанії Mikromat. – Електронні текстові данні. – Режим доступу. – : <http://www.mikromat.ru/catalog/jig-grinders/mikromat-8v-%E2%80%938v-2s-%E2%80%938v-hsc.html>, вільний. – (дата звернення: 20.11.2019). – Назва з екрана.

22. Зубошевинговальный станок Hartech HGS 4H-NC4/5 [Електронний ресурс] : Каталог устаткування компанії Soldream. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <https://soldream-spb.com/shop/zubobrabatyvayushchee-oborudovanie/zuboshevingovalnoe/39.html>, вільний. – (дата звернення: 20.11.2019). – Назва з екрана.

23. Круглошлифовальный верстат підвищеної точності STUDER RHU 500 [Електронний ресурс] : Каталог устаткування компанії Vitintech. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <https://vitcompany.com.ua/krugloshlifovalnyy-standok-povyshennoy-tochnosti-studer-rhu-500.html>, вільний. – (дата звернення: 20.11.2019). – Назва з екрана.

24. Двусторонний притирочный верстат Kemet Twin Lap M [Електронний ресурс] : Каталог устаткування компанії Kemet. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <https://www.kemet.co.uk/products/flatlapping/double-sided-lapping-machine>, вільний. – (дата звернення: 20.11.2019). – Назва з екрана.

25. Полірувальний верстат Bula BM 365 [Електронний ресурс] : Каталог устаткування компанії Grouperecomatic. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <https://www.grouperecomatic.ch/en/Products/BULA-BM-365.html>, вільний. – (дата звернення: 20.11.2019). – Назва з екрана.

26. Хонінгувальний верстат Sunnen SV-2400 Series [Електронний ресурс] : Каталог устаткування компанії Sunnen. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <https://www.sunnen.com/vertical-honing/sv-2400-vertical-honing>, вільний. – (дата звернення: 20.11.2019). – Назва з екрана.

27. Суперфінішувальний верстат Supfina cenpro 720/3 [Електронний ресурс] : Каталог устаткування компанії Industry Pilot. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <https://industry-pilot.com/en/Superfinishing-machine>

SUPFINA-CenPro-7203/p40215, вільний. – (дата звернення: 20.11.2019). – Назва з екрана.

28. Кожитова Л.В. Итоги и перспективы интегрированной системы образования в высшей школе И93 России: образование – наука – инновационная деятельность : монография / Л. В. Кожитова. – М: МГИУ, 2011. – 830 с.

29. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / [В. Н. Хмелев, А. Н. Сливин, Р. В. Барсуков и др.]. – Бийск: АЛТГТУ, 2010. – 203с.

30. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов: монография / А. И. Марков ; Москва. Машиностроение – М.: Машиностроение, 1980. – 237с.

31. Анализ тенденций применения безабразивной ультразвуковой финишной обработки сложных поверхностей, работающих в агрессивных средах : монография / [В. М. Давыдов, М. И. Кириллова, А. В. Никитенко, Д. Д. Якуба]. – Хабаровск: изд-во ТОГУ, 2015. – 52 с.

32. Исследование шероховатости после химико-термической обработки (ХТО) и безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО) : монография / [Л. А. Куркина, А.Д. Федотов, Ю. П. Грешилов и др.]. – Барнаул: изд-во АГТУ, 2010. – 35 с.

33. Способ безабразивной ультразвуковой финишной обработки : монография / [Г. А. Головлев, Д. Е. Максимов, В. И. Панышин и др.]. – Н. Новгород. Издательский центр «Гардиум». 1999. – 9с.

34. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування і машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» (8.090202) та «Технологія будування авіаційних двигунів» (7.900260) усіх форм навчання. / ЗНТУ; улад.: В. К. Яценко, В. І. Ципак, Є. Я. Коренєвський [та ін]. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2003. – 245.

35. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» (освітня програма «Технологія машинобудування»); 133 «Галузеве машинобудування» (освітня програма «Металорізальні верстати та системи»); 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (освітня програма «Авіаційні двигуни та енергетичні установки»,

«Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок») / ЗНТУ ; Уклад. В.І. Шмирко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 28 с.

36. Арзамасов, Б.Н. Конструкционные материалы : уч. Пособие / Б. Н. Арзамасов, В. А. Брострем, Н. А. Буше. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.

37. Дементій Л.В. Охорона праці в механічних та складальних цехах : монографія / Л. В. Дементій, С. А. Гончарова. – ДДМА, 2005. - 312 с.

38. Демиденко Г. П. Повышение устойчивости работы объектов народного хозяйства в военное время : уч. пособие / Г. П. Демиденко. – К. : Вища школа, 1984. – 232 с.