

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут, машинобудівний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра «Технологія машинобудування»

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему

Вдосконалення фінішного етапу обробки фланців
прямокутного хвилеводу за допомогою механічних щіток

Виконав: студент(ка) ІІ курсу, групи М-119м

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Технології машинобудування»

Терещенко К.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Гончар Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Гермашев А.І.

(прізвище та ініціали)

2020

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

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технологія машинобудування
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Технології машинобудування»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри С.І. Дядя
 « » 2020 року

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

- Терещенка Кирила Олександровича
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема проєкту (роботи) Вдосконалення фінішного етапу обробки фланців прямокутного хвилеводу за допомогою механічних щіток
 керівник проєкту (роботи) Гончар Н.В., канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом закладу вищої освіти від « 3 » 12 2020 року № 368
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 05.12.2020 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі «Фланець»;
річна програма випуску N=1500 деталей на рік
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3 Автоматизація слюсарних робіт; 4 Розрахунок деталі на міцність за допомогою пакету NX; 5 Спеціальне завдання. Вдосконалення фінішного етапу обробки фланців прямокутного хвилеводу за допомогою механічних щіток; 6 Оцінка очікуваної економічної ефективності концентрації операцій; 7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення деталі, заготовки; графічне зображення 3D-моделей деталі та заготовок; маршрут виготовлення деталі; графічне зображення етапів розробки операцій для верстатів з ЧПК; лист автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; графічне зображення результатів розрахунку деталі на міцність; графічна частина до спецзавдання

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	к.т.н., доцент Гончар Н.В.		
7	к.т.н., доцент Шмирко В.І.		
нормоконтроль	к.т.н., доцент Логомінов В.О.		

7. Дата видачі завдання « 01 » вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	22.09.2020	
2	Конструкторська частина	06.10.2020	
3	Автоматизація слюсарної операції за допомогою механічних щіток	14.10.2020	
4	Розрахунок деталі на міцність за допомогою пакету NX	20.10.2020	
5	Спецзавдання. Вдосконалення фінішного етапу обробки фланців прямокутного хвилеводу за допомогою механічних щіток	03.11.2020	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів	10.11.2020	
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	17.11.2020	
8	Оформлення пояснювальної записки.	24.11.2020	
9	Нормоконтроль і рецензія.	01.12.2020	
10	Захист дипломного проєкту.	10.12.2020	

Студент(ка)

(підпис)

Терещенко К.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Гончар Н.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 132 с., 6 табл., 49 рис., 2 дод., 62 джерел.

ДЕТАЛЬ, ЗАГОТОВКА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, SIEMENS NX, ОСНОВНИЙ ЧАС, ЩІТКА, ІГЛОФРЕЗИ, ЗВАРЮВАННЯ, ХВИЛЕВОД, ФЛАНЕЦЬ, ФІНІШНА ОБРОБКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, НАВАНТАЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – деталь «Фланець». Входить до вузлу хвилевода та призначений для поєднання з каналами на радіолокаційних установках для передачі хвиль надвисокої частоти.

Мета роботи – визначення доцільності використання щіток для фінішної обробки алюмінієвих фланців.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний; комп'ютерне моделювання експлуатаційного навантаження деталі; комп'ютерна симуляція процесів механічної обробки фланцю.

В магістерській роботі: обрано метод виготовлення деталі; спроектовано технологічний процес виготовлення деталі; обрано обладнання, інструмент, режими різання, норми часу; проведена симуляція окремих механічних операцій обробки за допомогою САМ-модулю; спроектовано робоче та контрольне пристосування; запропоновані рекомендації для автоматизації механічної обробки; проаналізовано методи фінішної обробки деталі; проведено розрахунок моделі деталі на міцність за допомогою САМ-модулю; розрахована економічна доцільність поєднання операцій; передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	8
ВСТУП	9
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	10
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	12
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	13
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі	17
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	17
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	20
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	25
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	26
1.6 Розрахунок режимів різання	31
1.6.1 Розрахунок режимів різання для фрезерування	31
1.6.2 Розрахунок режимів різання для свердління отвору $\varnothing 9^{+0,36}$ мм	34
1.6.3 Розрахунок режимів різання для зенкування отвору $\varnothing 9^{+0,36}$ мм	36
1.6.4 Розрахунок режимів різання для свердління отвору $\varnothing 8,5^{+0,36}$ мм	39
1.7 Технічне нормування операцій	42
1.8 Розробка технологічної операцій на високопродуктивному верстаті з ЧПК	47
1.8.1 Розробка фрезерного переходу	47
1.8.2 Розробка свердлильного переходу ($\varnothing 9^{+0,36}$ мм)	48
1.8.3 Розробка зенкувального переходу (для $\varnothing 9^{+0,36}$ мм)	49

1.8.4 Розробка свердлильного переходу ($\varnothing 8,5^{+0,36}$ мм)	50
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	52
2.1 Проектування робочого пристосування	52
2.1.1 Конструкція і принципи роботи пристосування	52
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення.	53
Розрахунок пристосування на точність	
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу	56
2.2 Проектування контрольного пристосування	66
2.2.1 Конструкція і принципи роботи контрольного пристосування	66
2.2.2 Розрахунок на точність	67
3 АВТОМАТИЗАЦІЯ СЛЮСАРНОЇ ОПЕРАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕХАНІЧНИХ ЩІТОК	74
4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ	76
4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі	76
4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції. Оптимізація геометрії деталі	80
5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ТЕМА: «ВДОСКОНАЛЕННЯ ФІНІШНОГО ЕТАПУ ОБРОБКИ ФЛАНЦІВ ПРЯМОКУТНОГО ХВИЛЕВОДУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕХАНІЧНИХ ЩІТОК»	85
5.1 Аналіз літературних джерел	85
5.2 Можливі шляхи вирішення	88
6 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОПЕРАЦІЙ	98
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	105
7.1 Аналіз потенційних небезпек	105
7.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	107
7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	109

7.4 Заходи з пожежної безпеки	111
7.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	114
ВИСНОВКИ	120
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	122
ДОДАТОК А: Специфікація робочого пристосування	130
ДОДАТОК Б: Специфікація контрольного пристосування	131

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АДЗ	Аргонно-дугове зварювання
ДСТУ	Державний стандарт
ЗОТС	Змащувально-охолоджуюче технологічне середовище
КВМ	Коефіцієнт використання матеріалу
КЕ	Кінцевий елемент
МВД	Маршрут виготовлення деталі
МОП	Маршрут обробки поверхні
НВЧ	Надвисока частота
ОП	Охорона праці
ППТЯ	Послідовність показників точності та якості
СНіП	Система норм і правил
ТП	Технологічний процес
ЧПК	Числове програмне керування

ВСТУП

На сьогодні головною проблемою в машинобудуванні залишаються забезпечення продуктивності виробництва за рахунок автоматизації, підвищення якості, зменшення кількості незадіяного матеріалу, зменшення витрат. Ці задачі вирішуються шляхом знаходження і застосування інноваційних підходів в розробці технологій.

Значно скорочується тривалість циклу конструкторської та технологічної підготовки виробництва при використанні новітніх засобів комп'ютерної автоматизації та візуалізації процесів за допомогою таких програм як AutoCAD, Unigraphics (SIEMENS NX), ANSYS тощо.

Для найрізноманітніших профілів деталей постає необхідність використання новітніх обладнань (верстатів) з ЧПУ, що значно може скоротити час та витрати при середньому та масовому виробництві

Підвищення якості як на етапі виробництва, так і на етапі складання і експлуатації здійснюється за рахунок ефективних засобів і методів за контролем продукції.

Головною метою дипломного проекту є проектування технологічного процесу створення деталі фланець та поведінка форми і матеріалу деталі у з'єднанні (вузлі) «фланець-міст-фланець» (хвилевод). Необхідно: визначити найбільш раціональний метод отримання заготовки, спроектувати МВД, обрати обладнання та інструменти, а також провести розрахунок режимів різання, спроектувати робоче та контрольне пристосування, провести розрахунок собівартості виготовлення деталі, призначити заходи з ОП.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції та службового призначення деталі

Деталь фланець входить до складу хвилеводу «фланець-міст-фланець», що застосовується на радіолокаційних станціях (РЛС) і призначається для передачі електромагнітної енергії (хвиль надвисокої частоти (НВЧ)) від передавача до антени та від антени до приймальної системи. Загальний вигляд вузлу представлено на рис.1.1. Типовий вигляд хвилеводу рис.1.2.

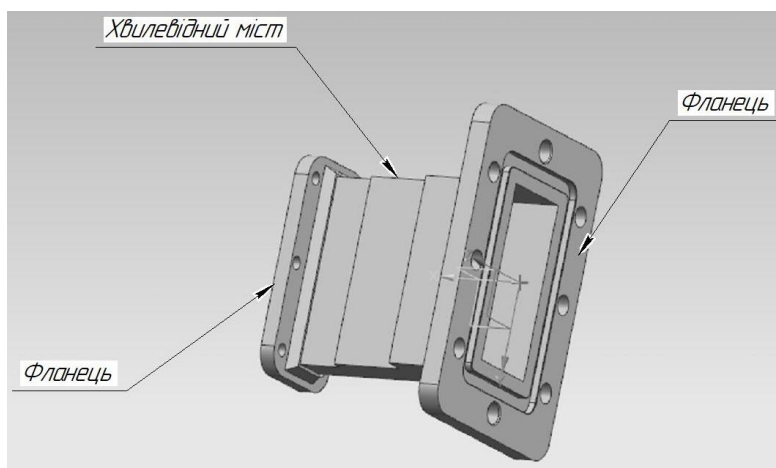


Рисунок 1.1 – Модель хвилеводу

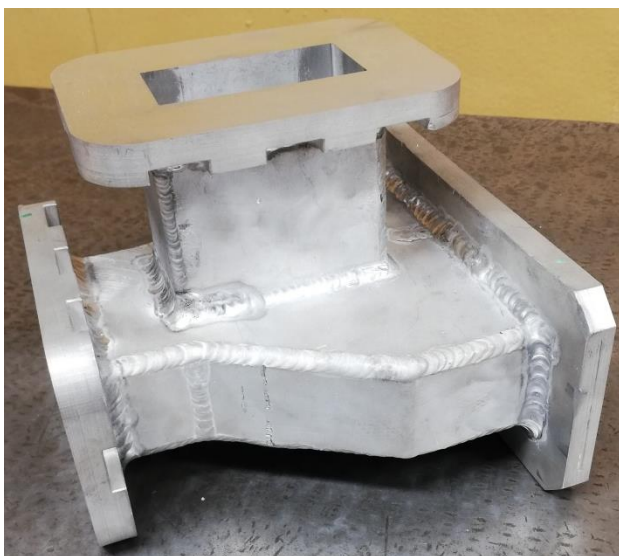


Рисунок 1.2 – Вигляд типового алюмінієвого хвилеводу

Деталь виготовлена зі сплаву технічного алюмінію АД0. Він відноситься до категорії сплавів низької міцності та високої пластичності, зварюваності та корозійної стійкості. Застосовується також для елементів конструкцій та деталей, де необхідні високі тепло – та струмопровідні властивості. Температура плавлення: $t = 660\text{ }^{\circ}\text{C}$. З них виготовляють трубопроводи, палубні надбудови судів, кабелі, електропроводи, шини, фольгу, перегородки в кімнатах, двері, рами, посуд, цистерни для молока.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад АД0

Вміст елементів у відсотках %						
Zn	Cu	Mn	Al	Ti	Si	Fe
> 0,07	> 0,02	> 0,03	99,5	> 0,1	> 0,3	> 0,3

Таблиця 1.2 – Механічні властивості матеріалу при $T = 20^{\circ}\text{C}$

Прокат	Товщина/ діаметр, мм	E, МПа	G, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %
Лист відпалений	2	71	27	40	80	35	80
Пруток без термообробки	20	-	-	40	150...100	6	60

Таблиця 1.3 – Фізичні властивості сплаву АД0

T, $^{\circ}\text{C}$	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	$\alpha \cdot 10^6$, 1/град	λ , Вт/(м·град)	ρ , кг/м ³	$R \cdot 10^9$, Ом·м
20	0,71	-	-	2710	29,2
100	-	24	226	-	-
200	-	25,6	-	-	-

Прийняті позначення механічних та фізичних властивостей АД0:

E – модуль пружності нормальний, МПа;

G – модуль пружності при зрушенні крутінням, МПа;

$\sigma_{0,2}$ – межа текучості умовна, МПа;

σ_B – межа міцності при розтягу, МПа;

δ_5 – відносне видовження після розриву, МПа;

ψ – відносне звуження, %;

R – питомий електроопір, Ом·м;

ρ – густина матеріалу при заданій температурі, кг/м³;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·град);

α – коефіцієнт температурного лінійного розширення, 1/Град.

1.2 Вибір типу виробництва і форма організації робіт

Виходячи з маси деталі $m = 0,21$ кг та річної програми випуску $N = 1500$ дет/рік визначаємо тип виробництва за таблицею [1, табл.1, с.15]. Згідно з таблицею деталь можна віднести до дрібносерійного типу виробництва. Визначимо об'єм партії:

$$n = \frac{a \cdot N}{A}, \text{ од,} \quad (1.1)$$

де a – періодичність запуску деталей у виробництво, дні

(приймаємо $a = 5$ днів);

N – річна програма випуску, од/рік;

A – кількість робочих днів у році (приймаємо $A = 250$ днів).

$$n = \frac{5 \cdot 1500}{250} = 30 \text{ од.}$$

Форма організації робіт (виробництва): непоточна форма.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Для деталі фланець (рис. 1.3) виконую економічне обґрунтування доцільності застосування обраного варіанту отримання заготовки.

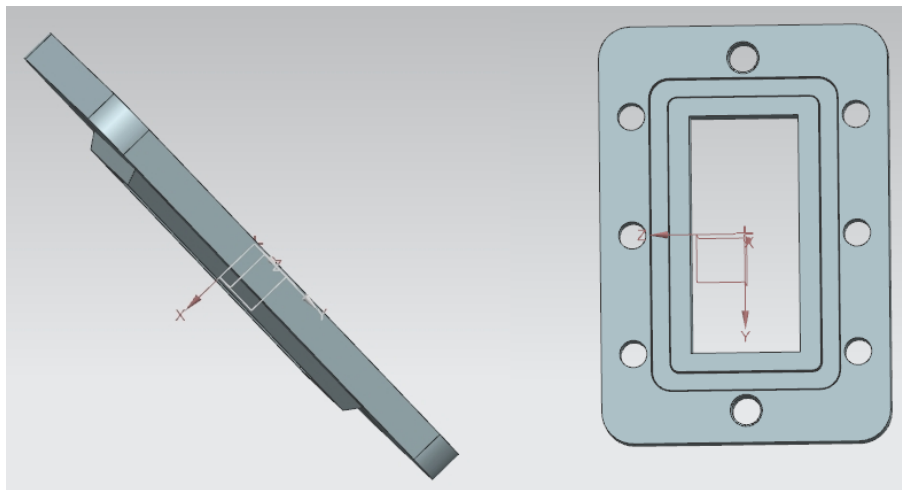
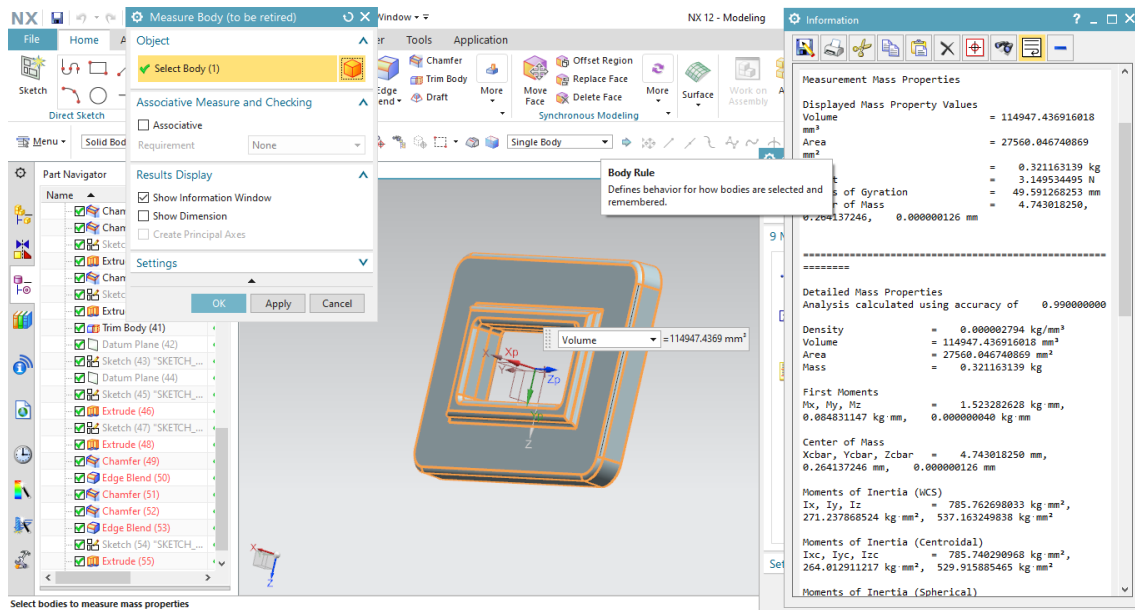


Рисунок 1.3 – Фланець

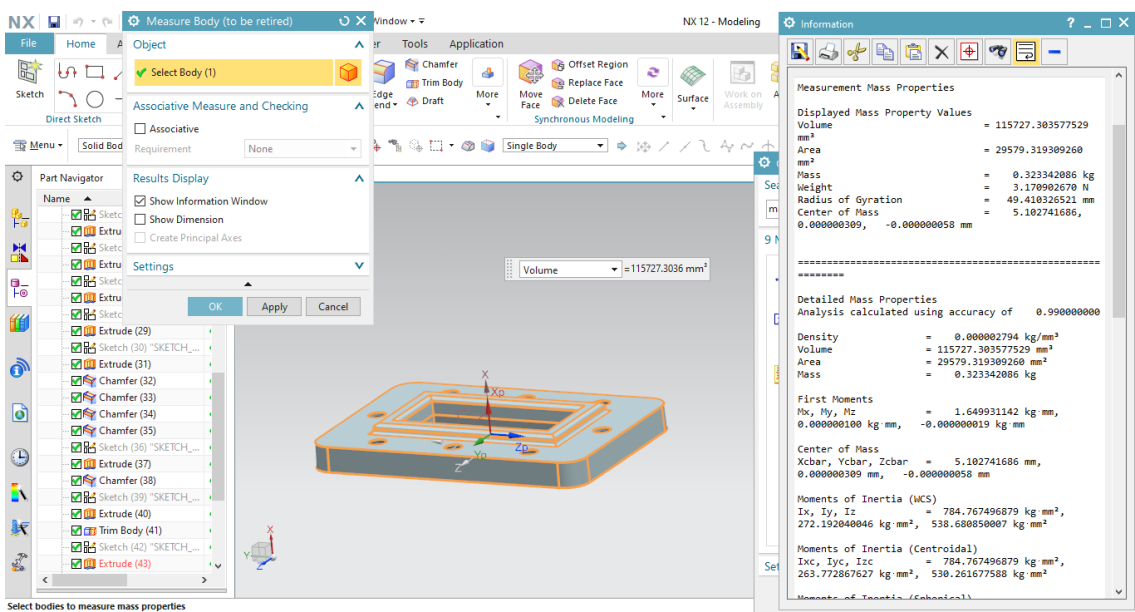
Розрахунок веду за формулами з [2]; обираю припуски за [3].

В даному випадку обираю серед:

- заготовки, отриманої штампуванням на пресах: штамп (рис. 1.4а);
- литтям у кокіль під тиском: виливок (рис. 1.4б).



a



б

Рисунок 1.4 – Маса заготовок (штамп та виливок)

Вихідні дані:

- матеріал заготовки: алюмінієвий сплав АД0;
- маса деталі: $Q = 0,21$ кг;
- програма випуску: $N = 1500$ од.

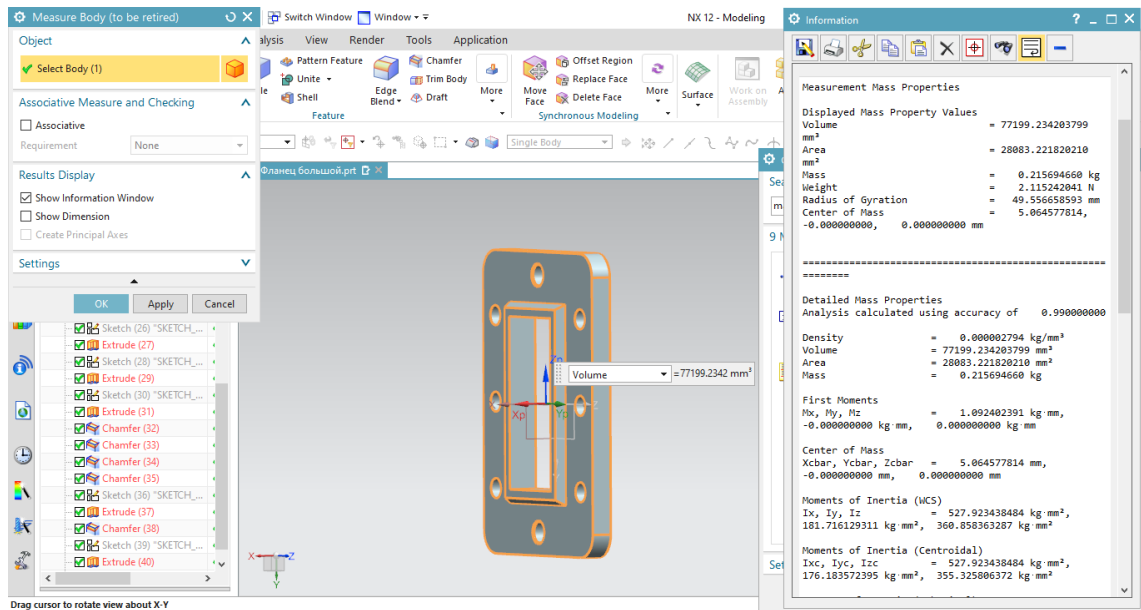


Рисунок 1.5 – Маса деталі фланець

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) за формулою (1.2):

$$\eta = \frac{Q_{\text{дет}}}{Q_{\text{заг}}}, \quad (1.2)$$

де $Q_{\text{дет}}$, $Q_{\text{заг}}$ – маса деталі та заготовки відповідно.

Для штампованої заготовки та відливка відповідно матимемо:

$$\eta_1 = \frac{0,21}{0,321} = 0,654,$$

$$\eta_2 = \frac{0,21}{0,323} = 0,65.$$

Собівартість отриманої заготовки розраховуємо за формулою:

$$C = \frac{C_B}{1000} \cdot Q_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_P - \frac{(Q - q)}{1000} \cdot S, \text{ грн}, \quad (1.3)$$

де C_B – базова вартість 1 т заготовок, які отримані цим методом, грн;

$Q_{\text{заг}}$ – маса заготовки, кг;

K_T – коефіцієнт, що враховує точність заготовки [2, табл.1.24, с.18];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал [2, табл.1.25, с.18];

K_C – коефіцієнт, що враховує складність заготовки [2, табл.1.26, с.19];

K_B – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [2, табл.1.27, с.19];

K_P – коефіцієнт, що враховує програму випуску [2, табл.1.28, с.19];

S – вартість 1 т стружки, грн [2, табл.1.5, с.13].

Для штампування та лиття відповідно матимемо:

$$C_1 = \frac{35000}{1000} \cdot 0,321 \cdot 5,1 \cdot 0,82 \cdot 1,05 \cdot 1 - \frac{(0,321 - 0,21)}{1000} \cdot 1770 = 45,9 \text{ грн.}$$

$$C_2 = \frac{178000}{1000} \cdot 0,323 \cdot 5,1 \cdot 0,82 \cdot 1,05 \cdot 1 - \frac{(0,323 - 0,21)}{1000} \cdot 1770 = \\ = 252,2 \text{ грн.}$$

Втрати розраховуємо за формулою (1.4):

$$E_{\text{еф}} = (C_2 - C_1) \cdot N, \text{ грн} \quad (1.4)$$

$$E_{\text{еф}} = (252,2 - 45,9) \cdot 1500 = 309450 \text{ грн.}$$

Річна економія метала за формулою (1.5):

$$M_{\text{ек}} = \frac{q(\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot N, \text{ кг} \quad (1.5)$$

$$M_{\text{ек}} = \frac{0,21 \cdot (0,654 - 0,65)}{0,654 \cdot 0,65} \cdot 1500 = 2,96 \text{ кг.}$$

Оскільки $C_1 = 45,9$ грн менше, ніж $C_2 = 252,2$ грн та $\eta_1 = 0,654$ більше за $\eta_2 = 0,65$, то найбільш раціональним способом отримання заготовки обираю саме штампування на пресах.

Таблиця 1.4 – Порівняльні показники за варіантами заготовок

Показник	Позначення	Одиниці вимірювання	Варіант заготовки	
			штампування на пресах	лиття під тиском
Маса	Q	кг	0,321	0,323
Припуск	Z	мм	1,3	1,2
Баз. ціна 1 т заготовок	C _Б	грн.	35000	178000
Поправочні коефіцієнти	K _Т	-	-	-
	K _М	-	5,1	5,1
	K _В	-	0,82	0,82
	K _З	-	1,05	1,05
	K _П	-	1	1
Вартість 1 т стружки	S	грн.	1770	1770
Собівартість 1 т заготовок	C	грн.	45,9	252,2
КВМ	η	-	0,654	0,65

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Проводити аналіз конструкції деталі «фланець» на технологічність буду за якісними та кількісними показниками.

До якісних показників технологічності відносяться:

- оброблюваність різанням: задовільна;
- застосування підйомно-транспортних засобів для переміщення деталі не потрібне (дуже мала вага деталі та заготовки);
- можливість використовувати принципи постійності та суміщення баз при механічній обробці;
- поверхні легкодоступні до механо- та контрольних інструментів;

— поверхні деталі правильної геометричної форми (вони можуть використовуватися в якості чорнових баз);

— жорсткість деталі характеризується коефіцієнтом жорсткості, що розраховується за формулою (1.6):

$$K_j = \frac{l_{max}}{S_{min}}, \quad (1.6)$$

де l_{max} — максимальна довжина деталі, мм;

S_{min} — мінімальна товщина деталі, мм, з врахуванням мінімальної товщини столу, на якому стоїть заготовка: $S_{min.ст.} = 20$ мм.

Умова жорсткості деталі:

$$[K_j < 5],$$

$$K_j = \frac{130}{8,71 + 20} = 4,53 < 5.$$

Деталь жорстка.

Кількісні показники технологічності:

— коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів (K_y) розраховується за формулою (1.7):

$$K_y = \frac{Q_{y.заг}}{Q_{к.заг}}, \quad (1.7)$$

де $Q_{y.заг}$ — кількість уніфікованих елементів;

$Q_{к.заг}$ — загальна кількість конструктивних елементів.

Умова уніфікації:

$$[K_y > 0,6]$$

$$K_y = \frac{1}{1} = 1 > 0,6.$$

— коефіцієнт точності обробки ($K_{\text{тч}}$) розраховується за формулою (1.8):

$$K_{\text{тч}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{ср}}}, \quad (1.8)$$

де $A_{\text{ср}}$ — середнє арифметичне значення квалітетів точності, який розраховується за формулою (1.9):

$$A_{\text{ср}} = \frac{\sum K_i}{n}, \quad (1.9)$$

де n — кількість квалітетів точності;

K_i — квалітет точності i -ого розміру.

Умова точності обробки:

$$\begin{aligned} & [K_{\text{тч}} \geq 0,8] \\ A_{\text{ср}} = & \frac{10 \cdot 1 + 1 \cdot 11 + 1 \cdot 9 + 1 \cdot 9 + 11 \cdot 1 + 6 \cdot 1 + 14 \cdot 6 + 12 \cdot 1}{18} + \\ & + \frac{13 \cdot 1 + 12 \cdot 1 + 11 \cdot 1 + 9 \cdot 2}{18} = 11,44. \\ K_{\text{тч}} = & 1 - \frac{1}{11,44} = 0,91. \end{aligned}$$

— коефіцієнт шорсткості $K_{\text{ш}}$, який розраховується за формулою (1.10):

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{ср}}}, \quad (1.10)$$

де $B_{\text{ср}}$ — середнє значення шорсткості оброблених поверхонь, мкм, розраховується за формулою (1.11):

$$B_{\text{ср}} = \frac{\sum M_i}{n}, \quad (1.11)$$

де M_i — шорсткість i -ої поверхні, мкм;

n — кількість усіх показників шорсткості поверхонь.

Умова шорсткості:

$$[K_{\text{ш}} < 0,32],$$

$$B_{\text{ср}} = \frac{1,6 \cdot 1 + 6,3 \cdot 9 + 3,2 \cdot 1}{11} = 5,59,$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{5,59} = 0,17.$$

Висновок: деталь «фланець» технологічна.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь (МОП)

Вихідні дані для призначення маршруту обробки поверхонь:

- деталь: фланець;
 - заготовка: штамповка нормальної точності;
 - тип виробництва: дрібносерійний ($N = 1500$ од/рік).
- Призначаю МОП для поверхонь (див. рис. 1.6).

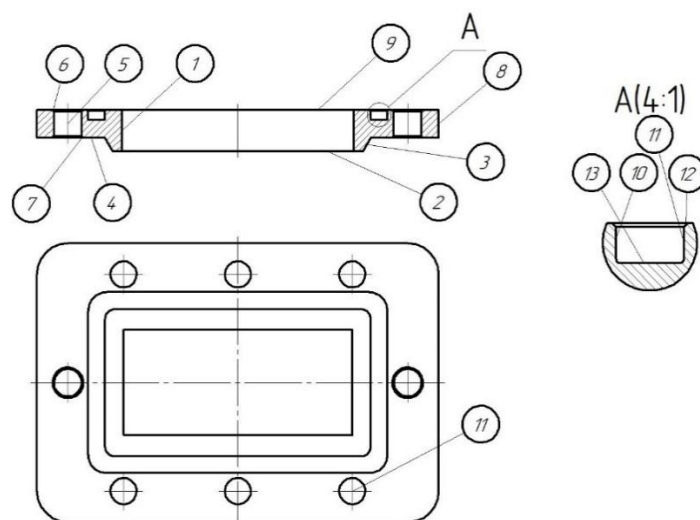


Рисунок 1.6 – Технологічна розмітка деталі фланець

Таблиця 1.5 – Вихідні дані для розрахунку МОП

Геометричний розмір, мм	Характеристики поверхні		Показники точності та якості									
			Квалітет, мкм		Відхилення №1		Відхилення №2		Шорсткість		Твердість	
	Вид	Тип	Дет.	Заг.	Дет.	Заг.	Дет.	Заг.	Дет.	Заг.	Дет.	Заг.
Ø8,5 ^{+0,36}	Циліндрична	Внутрішня	H14	IT17	-	-	-	-	Ra 6,3	Ra 25	-	25...30 HB
9±0,29	Плоска	Зовнішня	JS15	IT17	0,03	1	0,05	1	Ra 1,6	Ra 25		

Розроблю МОП з розміром Ø8,5H14^(+0,36) мм:

а) показники заготовки: ($_{-0,5}^{+0,9}$); $Td_{\text{заг}} = 1400$ мкм [2, табл.3.3, с.17];

$Ra_{\text{заг}} = 25$ мкм [2, табл.3.7, с.23].

б) загальні уточнення за показниками за формулами (1.12) – (1.14):

$$\varepsilon_{0Td} = \frac{Td_{\text{заг}}}{Td_{\text{дет}}}, \quad (1.12)$$

$$\varepsilon_{0Ra} = \frac{Ra_{\text{заг}}}{Ra_{\text{дет}}}, \quad (1.13)$$

$$\varepsilon_{0\gamma} = \frac{\gamma_{\text{заг}}}{\gamma_{\text{дет}}}, \quad (1.14)$$

$$\varepsilon_{0Td} = \frac{1400}{360} = 3,88,$$

$$\varepsilon_{0Ra} = \frac{25}{6,3} = 3,96.$$

Лімітований показник: шорсткість (Ra).

в) кількість переходів за формулою (1.16):

$$k = 2 \log \varepsilon_0, \quad (1.16)$$

$$k = 2 \log 3,96 \approx 1 \text{ перехід}$$

Для досягнення точності Н14 доцільно виконувати обробку за 1 перехід.

г) МОП:

1) заготовка;

2) свердління.

д) послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

різниця квалітетів: $\Delta = IT17 - H14 = 17 - 14 = 3$.

ППТЯ_{Td}: IT17→H14;

ППТЯ_{Ra}: Ra 25→Ra 6,3.

ж) проміжні уточнення:

1) за точністю:

$$\varepsilon_{Td_2} = \frac{Td_{\text{зар}_1}}{Td_2} = \frac{1400}{360} = 3,88.$$

2) за шорсткістю:

$$\varepsilon_{Ra_2} = \frac{Ra_{\text{зар}_1}}{Ra_2} = \frac{25}{6,3} = 3,96.$$

Контрольні правила за (1.17) – (1.18):

$$\left[\varepsilon_{\text{орозр}} \leq \prod \varepsilon_{Td} \right]; [3,88 \leq 3,88], \quad (1.17)$$

$$\left[\varepsilon_{\text{орозр}} \leq \prod \varepsilon_{Ra} \right]; [3,96 \leq 3,96]. \quad (1.18)$$

Висновок: контрольні правила збіглися, отже призначений маршрут обробки для даної поверхні вважаю вірним.

Розроблю МОП з розміром 9JS15(±0,29) мм:

а) показники заготовки: $(\begin{smallmatrix} +0,9 \\ -0,5 \end{smallmatrix})$; $Td_{\text{заг}} = 1400 \text{ мкм}$ [2, табл.3.3, с.17];
 $Ra_{\text{заг}} = 25 \text{ мкм}$ [2, табл.3.7, с.23].

б) загальні уточнення за формулами (1.12) – (1.14):

$$\varepsilon_{0Td} = \frac{1400}{580} = 2,41,$$

$$\varepsilon_{0Ra} = \frac{25}{1,6} = 15,625,$$

$$\varepsilon_{0_1} = \frac{1}{0,03} = 33,33,$$

$$\varepsilon_{0_2} = \frac{1}{0,05} = 20.$$

ε_{0_1} , ε_{0_2} – показники допуску площинності та перпендикулярності відповідно

Лімітований показник: відхилення (ε_{0_1}).

в) кількість переходів за формулою (1.16):

$$k = 2 \log \varepsilon_0,$$

$$k = 2 \log 33,33 \approx 2 \text{ переходи.}$$

г) МОП:

- 1) заготовка;
- 2) фрезерування чорнове;
- 3) фрезерування чистове.

д) ППТК:

різниця квалітетів: $\Delta = IT17 - JS15 = 17 - 15 = 2 = 1+1$.

ППТЯ_{Td}: IT17→JS16→JS15;

ППТЯ_{Ra}: Ra 25→Ra 3,2→Ra 1,6;

ППТЯ_{λ1}: λ1→λ0,08→λ0,03;

ППТЯ λ_2 : $\lambda_1 \rightarrow \lambda_{0,08} \rightarrow \lambda_{0,05}$.

ж) проміжні уточнення:

1) за точністю:

$$\varepsilon_{Td_2} = \frac{Td_{\text{заг1}}}{Td_2} = \frac{1400}{900} = 1,55,$$

$$\varepsilon_{Td_3} = \frac{Td_2}{Td_3} = \frac{900}{580} = 1,55.$$

2) за шорсткістю:

$$\varepsilon_{Ra_2} = \frac{Ra_{\text{заг1}}}{Ra_2} = \frac{25}{3,2} = 7,81,$$

$$\varepsilon_{Ra_3} = \frac{Ra_2}{Ra_3} = \frac{3,2}{1,6} = 2.$$

3) за допуском площинності:

$$\varepsilon_{\lambda_2} = \frac{\lambda_{\text{заг1}}}{\lambda_2} = \frac{1}{0,08} = 12,5,$$

$$\varepsilon_{\lambda_3} = \frac{\lambda_2}{\lambda_3} = \frac{0,08}{0,03} = 2,66.$$

4) за допуском перпендикулярності:

$$\varepsilon_{\lambda_2} = \frac{\lambda_{\text{заг1}}}{\lambda_2} = \frac{1}{0,08} = 12,5,$$

$$\varepsilon_{\lambda_3} = \frac{\lambda_2}{\lambda_3} = \frac{0,08}{0,05} = 1,6.$$

Контрольні правила за формулами (1.17) – (1.20):

$$\left[\varepsilon_{0\text{розр}} \leq \prod \varepsilon_{Td} \right]; [2,41 \leq 2,41].$$

$$\left[\varepsilon_{0\text{розр}} \leq \prod \varepsilon_{Ra} \right]; [15,625 \leq 15,625].$$

$$\left[\varepsilon_{0\text{розр}} \leq \prod \varepsilon_{0_1} \right]; [33,33 \leq 33,33]. \quad (1.19)$$

$$\left[\varepsilon_{0\text{розр}} \leq \prod \varepsilon_{0_2} \right]; [20 \leq 20]. \quad (1.20)$$

Висновок: контрольні правила збіглися, отже призначений маршрут обробки для даної поверхні вважаю вірним.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Базовий технологічний процес складається з 10 операцій:

- Операція 005 – Заготівельна;
- Операція 010 – Фрезерна з ЧПК;
- Операція 015 – Фрезерна з ЧПК;
- Операція 020 – Слюсарна;
- Операція 025 – Свердлильно-фрезерна з ЧПК;
- Операція 030 – Фрезерна з ЧПК;
- Операція 035 – Свердлильно-фрезерна з ЧПК;
- Операція 040 – Слюсарна;
- Операція 045 – Мийна;
- Операція 050 – Контрольна.

Для більшості операцій застосовується центр фрезерний вертикальний фірми DMC модель 635v esoline. Базування показано на кресленні маршруту виготовлення деталі (МВД).

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахунок припусків для розміру $\varnothing 8,5^{+0,36}$ мм (діаметрального) проводитимуть табличним методом за [2, табл.3.6, с.55] оскільки обробка виконується у суцільному матеріалі. За один прохід свердлом забезпечуємо необхідну точність заготовки за 14м квалітетом (Н14) знімаючи припуск, що дорівнює необхідному діаметру отвору – $\varnothing 8,5$ мм.

Деталь з контурами заготовки для розрахунку припусків методом розмірних ланцюгів представлена на рис.1.7.

Для розрахунку припусків та технологічних розмірів на лінійний розмір використовуватимуть метод розмірних ланцюгів. Вихідні дані для розрахунку:

- деталь: фланець;
- матеріал: АД0;
- заготовка: штамповка нормальної точності на пресах;
- група матеріалу – М1; ступінь складності поковки – С1.

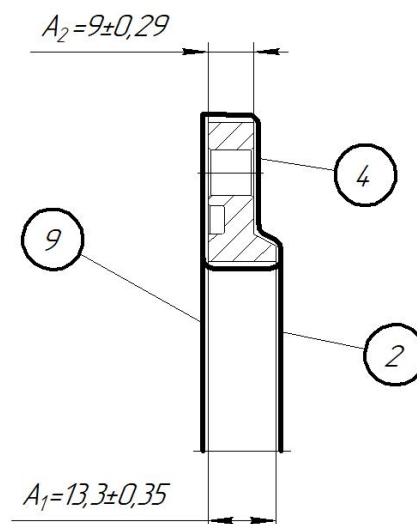


Рисунок 1.7 – Ескіз деталі з контурами заготовки

Розрахунок розмірних ланцюгів ведуть від зворотного: від деталі до заготовки. Замикаючі ланки – це розміри деталі та мінімальні припуски за переходами. Маршрут обробки поверхні:

Поверхня 2: Заготовка → Фрезерна з ЧПК Оп.10;

Поверхня 4: Заготовка → Свердлильно-фрезерна з ЧПК Оп.25;

Поверхня 9: Заготовка → Фрезерна з ЧПК Оп.15.

Обираю мінімальні припуски за [4, стор.46, т.4.9-4.23], мм:

а) Заготовка;

б) Фрезерування: $Z_1^{min} = Z_2^{min} = Z_3^{min} = 1$;

Обираю допуски TS за [4, стр.13, т.3.1], мм:

а) Фрезерування: за 10 квалітетом.

Перевірка.

Перед визначенням технологічних розмірних ланцюгів, необхідно виконати перевірку розмірної схеми технологічного процесу на відповідність наступним умовам:

а) сума технологічних розмірних відрізків на розмірній схемі ТП повинна дорівнювати сумі розмірних відрізків конструкторських розмірів та припусків:

$$k + m = l + p, \quad (1.21)$$

де k – кількість технологічних розмірів S_w ;

m – кількість технологічних розмірів Z_q ;

l – кількість конструкторських розмірів A_γ ;

p – кількість припусків Z_ϵ .

$$3 + 2 = 2 + 3$$

б) кількість вертикальних ліній на розмірній лінії ТП повинна дорівнювати:

$$N = l + p + 1 = 2 + 3 + 1 = 6 \quad (1.22)$$

Визначення технологічних розмірів.

Визначаю технологічний розмір S_3 .

З вихідного рівняння $[A_2] = S_3$ знаходжу:

$$A_2 = S_3 = 9 \pm 0,29 \text{ мм.}$$

Визначаю технологічний розмір S_2 .

З вихідного рівняння $[Z_3^{min}] = S_2^{min} - S_3^{max}$ знаходжу:

$$S_2^{min} = [Z_3^{min}] + S_3^{max} = 1 + 9,29 = 10,29 \text{ мм.}$$

Виконавчі розміри проставляю в системі h. Допуск та граничні відхилення визначаю за h10: $TS_{10} = 0,07 \text{ мм}$ та $EI_{10} = -0,035$; $ES_{10} = 0$:

$$S_2^{ном} = S_2^{max} = S_2^{min} - EI_2 = 10,29 - (-0,035) = 10,325 \text{ мм.}$$

Виконавчий розмір: $S_2 = 10,325_{-0,035} \text{ мм.}$

Визначаю Z_3^{max} :

$$[Z_3^{max}] = S_2^{max} - S_3^{min} = 10,325 - 8,71 = 1,615 \text{ мм.}$$

Визначаю технологічний розмір S_1 .

З вихідного рівняння $[A_1^{ном}] = S_1^{ном} - S_2^{ном} + S_3^{ном}$ знаходжу:

$$S_1^{ном} = A_1^{ном} + S_2^{ном} - S_3^{ном} = 13,3 + 10,325 - 9 = 14,625 \text{ мм.}$$

Допуск на виконавчий розмір проставляю по js10 (фрезерування): $TS_{10} = 0,07 = \pm 0,035 \text{ мм.}$ Перевірка:

$$\begin{aligned} A_1 &= S_1 - S_2 + S_3 = 14,625 \pm 0,035 - 10,325_{-0,035} + 9 \pm 0,29 = \\ &= 13,3_{-0,325}^{+0,36} \text{ мм.} \end{aligned}$$

$T[A_1] = 0,685 < TA_1 = 0,7$ мм – конструкторський розмір буде забезпечуватися. Виконавчий розмір $S_1 = 14,625 \pm 0,035$ мм.

Визначаю технологічний розмір Z_1 .

З вихідного рівняння $[Z_1^{min}] = Z_1^{min} - S_1^{max}$ знаходжу:

$$Z_1^{min} = S_1^{max} + [Z_1^{min}] = 14,625 + 1 = 15,625 \text{ мм.}$$

Граничні відхилення та допуск для розміру Z_1 проставляю як для штамповки нормальної точності: $TZ_1 = 1 = \begin{smallmatrix} +0,6 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$.

Визначаю технологічний розмір $Z_1^{ном}$:

$$Z_1^{ном} = Z_1^{min} - EI_1 = 15,625 - (-0,4) = 16,025 \text{ мм.}$$

Виконавчий розмір: $Z_1 = 16,025 \begin{smallmatrix} +0,6 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$ мм.

Розрахую граничні значення припуску Z_1 :

$$Z_1^{ном} = Z_1^{ном} - S_1^{ном} = 16,025 \begin{smallmatrix} +0,6 \\ -0,4 \end{smallmatrix} - 14,625 \pm 0,035 = 1,4 \begin{smallmatrix} +0,635 \\ -0,435 \end{smallmatrix} \text{ мм.}$$

$$[Z_1^{max}] = 1,4 + 0,635 = 2,035 \text{ мм.}$$

Визначаю технологічний розмір Z_2 .

З вихідного рівняння $[Z_2^{min}] = Z_2^{min} - S_2^{max}$ знаходжу:

$$Z_2^{min} = S_2^{max} + [Z_2^{min}] = 10,325 + 1 = 11,325 \text{ мм.}$$

Граничні відхилення та допуск для розміру Z_2 проставляю як для штамповки нормальної точності: $TZ_2 = 1 = \begin{smallmatrix} +0,6 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$.

Визначаю технологічний розмір $Z_2^{\text{НОМ}}$:

$$Z_2^{\text{НОМ}} = Z_2^{\text{min}} - EI_2 = 11,325 - (-0,4) = 11,725 \text{ мм.}$$

Виконавчий розмір: $Z_2 = 11,725_{-0,4}^{+0,6}$ мм.

Розрахую граничні значення припуску Z_2 :

$$Z_2^{\text{НОМ}} = Z_2^{\text{НОМ}} - S_2^{\text{НОМ}} = 11,725_{-0,4}^{+0,6} - 10,325_{-0,035} = 1,4_{-0,4}^{+0,635} \text{ мм.}$$

$$[Z_2^{\text{max}}] = 1,4 + 0,635 = 2,035 \text{ мм.}$$

Загальна розмірна схема представлена на рис.1.8. Схеми для знаходження розмірних ланцюгів представлені на рис.1.9.

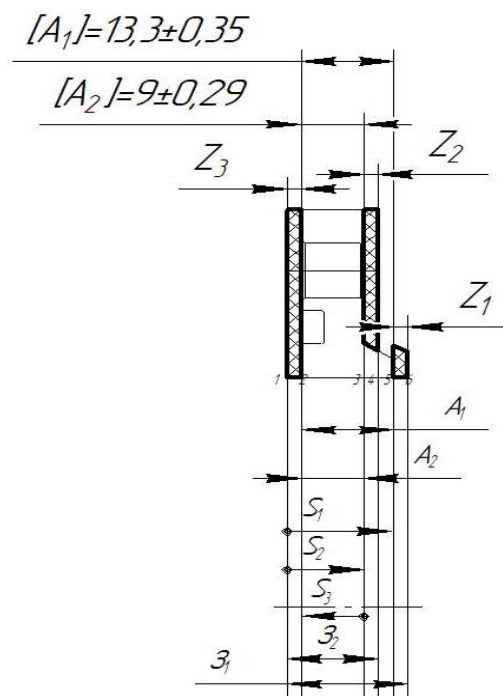


Рисунок 1.8 – Розмірна схема технологічного процесу обробки

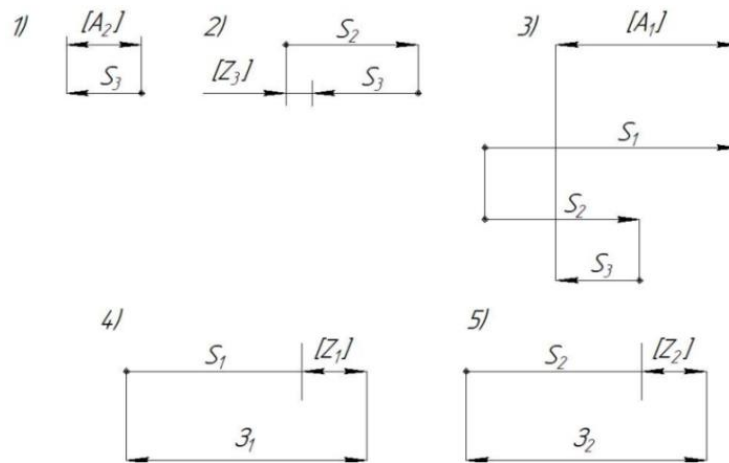


Рисунок 1.9 – Схеми для знаходження розмірних ланцюгів

1.6 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання для операції 025 Свердлильно-фрезерна з ЧПК. Обробка виконується наступним чином (див. креслення МВД):

- перехід I: фрезерування поверхні 4;
- перехід II: свердління отвору 5;
- перехід III: зенкування отвору 7;
- перехід IV: свердління отвору 11.

Обраний верстат: DMC635V Ecoline Центр фрезерний вертикальний.
Потужність $N = 17$ кВт.

1.6.1 Розрахунок режимів різання для фрезерування

Інструмент: фреза кінцева $\varnothing 16$ мм, $z = 3$, $\varphi = 45^\circ$, R0,1 ГОСТ 23249-78.
Матеріал: Р6М5 ГОСТ 19265-73. Ескіз переходу представлено на рис. 1.10:

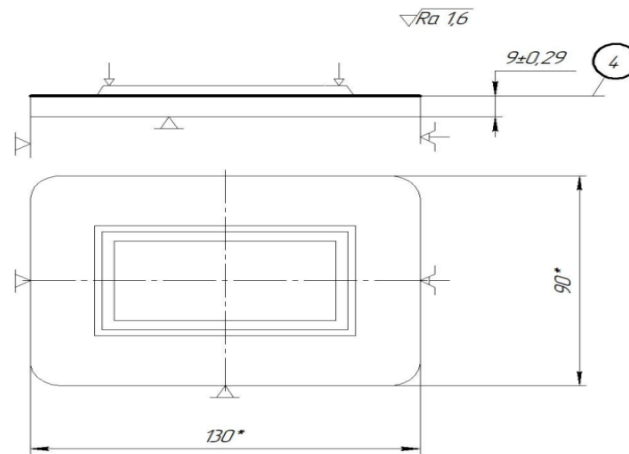


Рисунок 1.10 – Ескіз фрезерного переходу

Стійкість інструмента: $T_{\text{інс}} = 40$ хв. Ширина фрезерування $B = 20$ мм, глибина фрезерування $t = 3$ мм ГОСТ 23249-78.

Розрахунок подачі за формулою (1.23) по [12, с.306]:

$$S_{\text{Позр}} = S_{\text{зуб}} \cdot K_{\text{SzM}} \cdot K_{\text{SzФ}} \cdot K_{\text{SzR}} \cdot K_{\text{Szc}}, \quad (1.23)$$

де $S_{\text{зуб}} = 0,05$ мм/зуб – подача на зуб за ГОСТ 23249-78;

K_{SzM} – поправний коефіцієнт, що залежить від матеріалу інструмента:

$K_{\text{SzM}} = 1$ – швидкорізальна сталь [12, табл.114, с.305];

$K_{\text{SzФ}}$ – поправний коефіцієнт, що залежить від виду поверхні,

що обробляється: $K_{\text{SzФ}} = 1$ – площина [12, табл.114, с.305];

K_{SzR} – поправний коефіцієнт, що залежить від шорсткості поверхні:

$K_{\text{SzR}} = 1 - Ra_{1,6}$ [12, табл.114, с.305];

K_{Szc} – поправний коефіцієнт, що залежить від шифру схеми фрезерування:

$K_{\text{Szc}} = 0,4$ – 6а схема [12, табл.109, с.302].

$$S_{\text{Позр}} = 0,05 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,4 = 0,02 \text{ мм/зуб.}$$

Приймаю: $S_{\text{Позр}} = 0,02$ мм/зуб. Розрахунок швидкості веду за (1.24):

$$V_P = V_{\text{ФР}} \cdot V_{\text{VM}} \cdot V_{\text{VH}} \cdot V_{\text{VC}} \cdot V_{\text{VФ}} \cdot V_{\text{VO}} \cdot V_{\text{VB}}, \quad (1.24)$$

де $V_{\text{ФР}} = 25$ м/хв – значення швидкості за ГОСТ 23249-78;

V_{vm} – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі:

$$V_{vm} = 0,9 - \text{АД0 [12, табл.1, с.13];}$$

V_{vh} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента:

$$V_{vh} = 1 - \text{Р6М5 [12, табл.129, с.317];}$$

V_{vc} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні, яка обробляється:

$$V_{vh} = 1 - \text{без корки [12, табл.129, с.317];}$$

V_{vc} – коефіцієнт, що враховує форму поверхні, яка оброблюється:

$$V_{vc} = 1 - \text{площина [12, табл.129, с.317];}$$

V_{vo} – коефіцієнт, що враховує умови обробки:

$$V_{vo} = 1,2 - \text{зі змащувально-охолоджуючим технологічним середовищем (ЗОТС) [12, табл.129, ст.317];}$$

V_{vb} – коефіцієнт, що враховує ширину фрезерування:

$$V_{vb} = 1,12 - \text{ширина } B = 20 \text{ мм [12, табл.129, с.318].}$$

$$V_P = 25 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,12 = 30,24 \text{ м/хв.}$$

Розрахунок числа обертів за формулою (1.25):

$$n = \frac{1000 \cdot V_P}{\pi \cdot d_{max}}, \quad (1.25)$$

де d_{max} – діаметр фрези: $\varnothing 16$ мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 30,24}{3,14 \cdot 16} = 602 \text{ об/хв}$$

Приймаємо $n_{пр} = 602$ об/хв. Фактична швидкість фрезерування

$V_{\phi} = 30,24$ м/хв. Розрахунок довжини робочого ходу за формулою (1.26):

$$L_{P.X.} = L_{вріз} + L_{різ} + L_{переб}, \quad (1.26)$$

де $L_{вріз}$ – довжина врізання: $L_{вріз} = 2$ мм.

$L_{різ}$ – довжина фрезерування: $L_{різ} = 708$ мм;

$L_{переб}$ – довжина перебігу: $L_{переб} = 4$ мм.

$$L_{P.X.} = 2 + 708 + 4 = 714 \text{ мм.}$$

1.6.2 Розрахунок режимів різання для свердління отвору $\varnothing 9^{+0,36}$ мм

Інструмент: свердло спіральне $\varnothing 9$ мм ГОСТ 19548-88. Матеріал: P18 ГОСТ 19265-73. Ескіз переходу представлено на рис. 1.11:

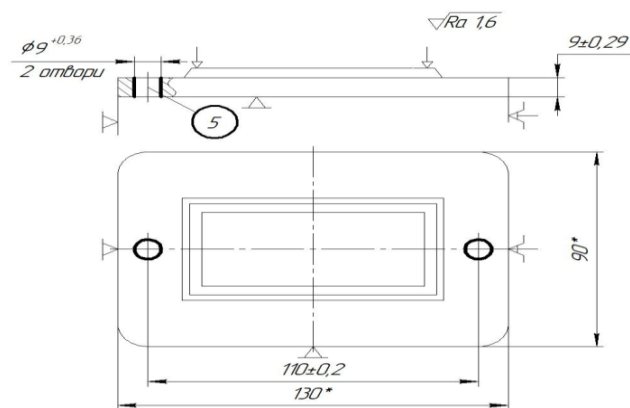


Рисунок 1.11 – Ескіз свердлильного переходу

Стійкість інструмента: $T_{\text{інс}} = 60$ хв.

Розрахунок глибини свердління за формулою (1.27):

$$t_{\text{св}} = \frac{D}{2}, \quad (1.27)$$

де D – діаметр отвору, мм.

$$t_{\text{св}} = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ мм.}$$

Розрахунок подачі за формулою (1.28) по [12, с.266]:

$$S_{\text{Позр}} = S_{\text{таб}} \cdot K_{\text{St}} \cdot K_{\text{Sж}} \cdot K_{\text{Си}} \cdot K_{\text{Sd}} \cdot K_{\text{SM}}, \quad (1.28)$$

де $S_{\text{таб}} = 0,22$ мм/об – подача за ГОСТ 19548-88;

K_{St} – поправний коефіцієнт, що залежить від глибини свердління:

$$K_{St} = 1 - 3D \text{ [12, табл.65, с.267];}$$

$K_{Sж}$ – поправний коефіцієнт, що залежить від жорсткості технологічної системи: $K_{Sж} = 1$ – висока жорсткість [12, табл.65, с.267];

K_{Si} – поправний коефіцієнт, що залежить від матеріалу інструмента:

$$K_{Si} = 1 - P18 \text{ [12, табл.65, с.267];}$$

K_{Sd} – поправний коефіцієнт, що залежить від типу поверхні, що обробляється: $K_{Sd} = 1$ – наскрізне [12, табл.65, с.267];

K_{SM} – поправний коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу, що обробляється: $K_{SM} = 1,52$ – II група подач [12, табл.65, с.267].

$$S_{Pозр} = 0,22 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,52 = 0,33 \text{ мм/об.}$$

Приймаю: $S_{Pозр} = 0,33 \text{ мм/об.}$

Розрахунок швидкості за формулою (1.29) по [12, с.268]:

$$V_P = V_{ФР} \cdot V_{vm} \cdot V_{vh} \cdot V_{vd} \cdot V_{vo} \cdot V_{vT} \cdot V_{vt}, \quad (1.29)$$

де $V_{ФР} = 90 \text{ м/хв}$ – значення швидкості за ГОСТ 19548-88;

V_{vm} – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі:

$$V_{vm} = 0,9 - АД0 \text{ [12, табл.1, с.13];}$$

V_{vh} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента:

$$V_{vh} = 1 - P18 \text{ [12, табл.67, с.270];}$$

V_{vd} – коефіцієнт, що враховує тип отвору:

$$V_{vh} = 0,9 - \text{наскрізне [12, табл.67, с.270];}$$

V_{vo} – коефіцієнт, що враховує умови обробки:

$$V_{vc} = 1 - \text{з ЗОТС [12, табл.67, с.270];}$$

V_{vT} – коефіцієнт, що враховує стійкість інструмента:

$$V_{vo} = 1 - 60 \text{ хв [12, табл.67, с.270];}$$

V_{vt} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління:

$$V_{vb} = 1 - 3D \text{ [12, табл.67, с.270].}$$

$$V_p = 90 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 72,9 \text{ м/хв.}$$

Розрахунок числа обертів за проводитиму за формулою (1.25):

$$n = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot d_{\max}};$$

де $d_{\max}$ – діаметр свердла: Ø9 мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 72,9}{3,14 \cdot 9} = 2580 \text{ об/хв}$$

Приймаємо $n_{\text{пр}} = 2580 \text{ об/хв.}$

Фактична швидкість свердління $V_{\phi} = 72,9 \text{ м/хв.}$

Розрахунок довжини робочого ходу проводитиму за формулою (1.26):

$$L_{\text{р.х.}} = L_{\text{вріз}} + L_{\text{різ}} + L_{\text{переб}},$$

де $L_{\text{вріз}}$ – довжина врізання: $L_{\text{вріз}} = 2 \text{ мм.}$

$L_{\text{різ}}$ – довжина свердління: $L_{\text{різ}} = 9 \text{ мм;}$

$L_{\text{переб}}$ – довжина перебігу: $L_{\text{переб}} = 2 \text{ мм.}$

Розрахунок проводиться для свердління одного отвору.

$$L_{\text{р.х.}} = 2 + 9 + 2 = 13 \text{ мм.}$$

1.6.3 Розрахунок режимів різання для зенкування отвору Ø9^{+0,36} мм

Інструмент: зенковка конічна 2353-0103 ГОСТ 14953-80 (Ø12,5 мм).

Матеріал: P18 ГОСТ 19265-73. Ескіз переходу представлено на рис. 1.12:

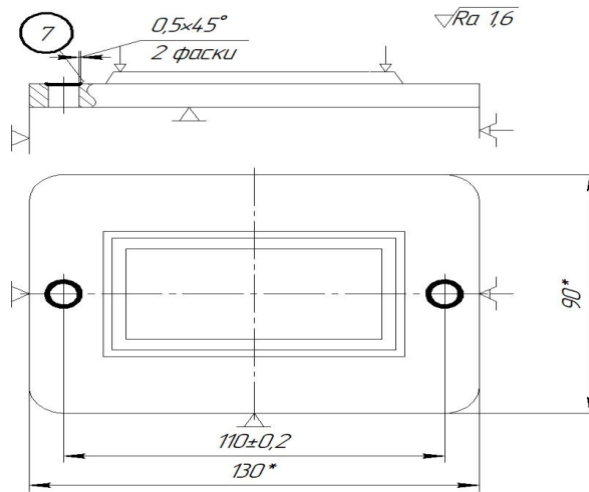


Рисунок 1.12 – Ескіз зенкувального переходу

Стійкість інструмента: $T_{\text{інс}} = 30$ хв.

Розрахунок глибини зенкування за формулою (1.27):

$$t_{\text{св}} = \frac{D}{2},$$

де D – діаметр отвору, мм.

$$t_{\text{св}} = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ мм.}$$

Розрахунок подачі за формулою (1.28):

$$S_{\text{Позр}} = S_{\text{таб}} \cdot K_{\text{St}} \cdot K_{\text{Sж}} \cdot K_{\text{Си}} \cdot K_{\text{Sд}} \cdot K_{\text{СМ}},$$

де $S_{\text{таб}} = 0,06$ мм/об – подача за ГОСТ 14953-80;

K_{St} – поправний коефіцієнт, що залежить від глибини свердління:

$$K_{\text{St}} = 1 - 3D \text{ [12, табл.65, с.267];}$$

$K_{\text{Sж}}$ – поправний коефіцієнт, що залежить від жорсткості технологічної системи: $K_{\text{Sж}} = 1$ – висока жорсткість [12, табл.65, с.267];

$K_{\text{Си}}$ – поправний коефіцієнт, що залежить від матеріалу інструмента:

$$K_{\text{Си}} = 1 - P18 \text{ [12, табл.65, с.267];}$$

$K_{\text{Sд}}$ – поправний коефіцієнт, що залежить від типу поверхні, що

обробляється: $K_{Sd} = 1$ – наскрізне [12, табл.65, с.267];

K_{SM} – поправний коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу,
що обробляється: $K_{SM} = 1,52$ – II група подач [12, табл.65, с.267].

$$S_{Pозр} = 0,06 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,52 = 0,09 \text{ мм/об.}$$

Приймаю: $S_{Pозр} = 0,09 \text{ мм/об.}$

Розрахунок швидкості за формулою (1.29):

$$V_P = V_{ФР} \cdot V_{vm} \cdot V_{vh} \cdot V_{vd} \cdot V_{vo} \cdot V_{vT} \cdot V_{vb},$$

де $V_{ФР} = 12 \text{ м/хв}$ – значення швидкості за ГОСТ 14953-80;

V_{vm} – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі:

$$V_{vm} = 0,9 \text{ – АД0 [12, табл.1, с.13];}$$

V_{vh} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента:

$$V_{vh} = 1 \text{ – P18 [12, табл.67, с.270];}$$

V_{vd} – коефіцієнт, що враховує тип отвору:

$$V_{vh} = 0,9 \text{ – наскрізне [12, табл.67, с.270];}$$

V_{vo} – коефіцієнт, що враховує умови обробки:

$$V_{vc} = 1 \text{ – з ЗОТС [12, табл.67, с.270];}$$

V_{vT} – коефіцієнт, що враховує стійкість інструмента:

$$V_{vo} = 0,7 \text{ – 30 хв [12, табл.67, с.270];}$$

V_{vt} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління:

$$V_{vb} = 1 \text{ – 3D [12, табл.67, с.270].}$$

$$V_P = 12 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 6,8 \text{ м/хв.}$$

Розрахунок числа обертів за формулою (1.25):

$$n = \frac{1000 \cdot V_P}{\pi \cdot d_{max}};$$

де d_{max} – діаметр зенковки: $\varnothing 12,5 \text{ мм.}$

$$n = \frac{1000 \cdot 6,8}{3,14 \cdot 12,5} = 173 \text{ об/хв}$$

Приймаємо $n_{\text{пр}} = 173 \text{ об/хв}$.

Фактична швидкість свердління $V_{\text{ф}} = 6,8 \text{ м/хв}$.

Розрахунок довжини робочого ходу проводитиму за формулою (1.26):

$$L_{\text{р.х.}} = L_{\text{вріз}} + L_{\text{різ}} + L_{\text{переб}},$$

де $L_{\text{вріз}}$ – довжина врізання: $L_{\text{вріз}} = 2 \text{ мм}$;

$L_{\text{різ}}$ – довжина зенкування: $L_{\text{різ}} = 0,5 \text{ мм}$;

$L_{\text{переб}}$ – довжина перебігу: $L_{\text{переб}} = 3,7 \text{ мм}$.

Розрахунок проводиться для зенкування одного отвору.

$$L_{\text{р.х.}} = 2 + 0,5 + 3,7 = 4,2 \text{ мм.}$$

1.6.4 Розрахунок режимів різання для свердління отвору $\text{Ø}8,5^{+0,36}_{-0}$ мм

Інструмент: свердло спіральне $\text{Ø}8,5 \text{ мм}$ ГОСТ 19548-88. Матеріал: Р18 ГОСТ 19265-73. Ескіз переходу представлено на рис. 1.13:

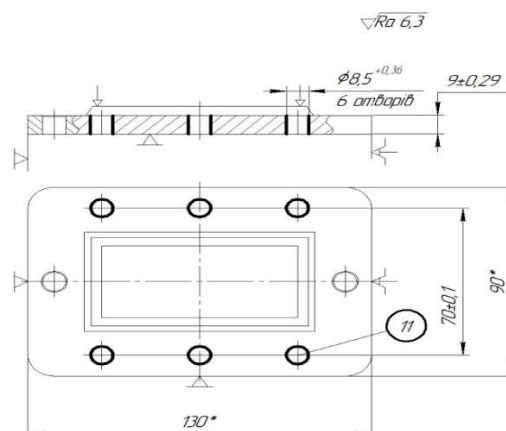


Рисунок 1.13 – Ескіз свердильного переходу

Стійкість інструмента: $T_{\text{інс}} = 60$ хв. Розрахунок глибини свердління за формулою (1.27):

$$t_{\text{св}} = \frac{D}{2},$$

де D – діаметр отвору, мм.

$$t_{\text{св}} = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ мм.}$$

Розрахунок подачі за формулою (1.28):

$$S_{\text{Позр}} = S_{\text{таб}} \cdot K_{\text{St}} \cdot K_{\text{Sж}} \cdot K_{\text{Sh}} \cdot K_{\text{Sd}} \cdot K_{\text{SM}},$$

де $S_{\text{таб}} = 0,22$ мм/об – подача за ГОСТ 19548-88;

K_{St} – поправний коефіцієнт, що залежить від глибини свердління:

$$K_{\text{St}} = 1 - 3D \text{ [12, табл.65, с.267];}$$

$K_{\text{Sж}}$ – поправний коефіцієнт, що залежить від жорсткості технологічної системи: $K_{\text{Sж}} = 1$ – висока жорсткість [12, табл.65, с.267];

K_{Sh} – поправний коефіцієнт, що залежить від матеріалу інструмента:

$$K_{\text{Sh}} = 1 - P18 \text{ [12, табл.65, с.267];}$$

K_{Sd} – поправний коефіцієнт, що залежить від типу поверхні, що обробляється: $K_{\text{Sd}} = 1$ – наскрізне [12, табл.65, с.267];

K_{SM} – поправний коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу, що обробляється: $K_{\text{SM}} = 1,52$ – II група подач [12, табл.65, с.267].

$$S_{\text{Позр}} = 0,22 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,52 = 0,33 \text{ мм/об.}$$

Приймаю $S_{\text{Позр}} = 0,33$ мм/об. Розрахунок швидкості за формулою (1.29):

$$V_{\text{P}} = V_{\text{ФР}} \cdot V_{\text{VM}} \cdot V_{\text{VH}} \cdot V_{\text{vd}} \cdot V_{\text{vo}} \cdot V_{\text{VT}} \cdot V_{\text{vb}},$$

де $V_{\text{св}} = 90$ м/хв – значення швидкості за ГОСТ 19548-88;

V_{VM} – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі:

$V_{vm} = 0,9$ – АД0 [12, табл.1, с.13];

V_{vh} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента:

$V_{vh} = 1$ – Р18 [12, табл.67, с.270];

V_{vd} – коефіцієнт, що враховує тип отвору:

$V_{vh} = 0,9$ – наскрізне [12, табл.67, с.270];

V_{vo} – коефіцієнт, що враховує умови обробки:

$V_{vc} = 1$ – з ЗОТС [12, табл.67, с.270];

V_{vt} – коефіцієнт, що враховує стійкість інструмента:

$V_{vo} = 1$ – 60 хв [12, табл.67, с.270];

V_{vt} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління:

$V_{vb} = 1$ – 3D [12, табл.67, с.270].

$$V_p = 90 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 72,9 \text{ м/хв.}$$

Розрахунок числа обертів за формулою (1.25):

$$n = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot d_{max}};$$

де d_{max} – діаметр свердла: Ø8,5 мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 72,9}{3,14 \cdot 8,5} = 2731 \text{ об/хв}$$

Приймаємо $n_{пр} = 2731 \text{ об/хв.}$

Фактична швидкість свердління $V_{\phi} = 72,9 \text{ м/хв.}$

Розрахунок довжини робочого ходу проводитиму за формулою (1.26):

$$L_{p.x.} = L_{вріз} + L_{різ} + L_{переб},$$

де $L_{вріз}$ – довжина врізання: $L_{вріз} = 2 \text{ мм.}$

$L_{різ}$ – довжина свердління: $L_{різ} = 9 \text{ мм;}$

$L_{переб}$ – довжина перебігу: $L_{переб} = 2 \text{ мм.}$

Розрахунок проводиться для свердління одного отвору:

$$L_{P.X.} = 2 + 9 + 2 = 13 \text{ мм}$$

1.7 Технічне нормування операцій

Розрахунок технічного нормування для операції 025 Свердлильно-фрезерна з ЧПК, що складається з 4-ьох переходів. Розрахунок основного часу для першого переходу – фрезерування – розраховується за формулою (1.30):

$$t_o = \frac{L_{P.X.}}{S_{\text{Розр}} \cdot n} \cdot i, \text{ хв}, \quad (1.30)$$

де i – кількість проходів;

$S_{\text{Розр}}$ – подача розрахункова, мм/об (мм/зуб – для фрезерування);

n – число обертів, об/хв.

$$t_{o1} = \frac{714}{0,02 \cdot 602} = 59,3 \text{ хв.}$$

Розрахунок основного часу для другого переходу – свердління отвору $\varnothing 9^{+0,36}$ мм за формулою (1.30):

$$t_{o2} = \frac{13}{0,33 \cdot 2580} = 0,015 \text{ хв.}$$

Оскільки отворів два і вони розташовані протилежно один одному, то сумарний основний час складатиме:

$$t_{\Sigma 02} = t_{o2} \cdot 2 = 0,03 \text{ хв.}$$

Розрахунок основного часу для третього переходу – зенкування отвору $\varnothing 9^{+0,36}$ мм за формулою (1.30):

$$t_{o3} = \frac{4,2}{0,09 \cdot 173} = 0,27 \text{ хв.}$$

Оскільки отворів два і вони розташовані протилежно один одному, то сумарний основний час складатиме:

$$t_{\Sigma 03} = t_{o3} \cdot 2 = 0,54 \text{ хв.}$$

Розрахунок основного часу для четвертого переходу – свердління отвору $\varnothing 8,5^{+0,36}$ мм за формулою (1.30):

$$t_{o4} = \frac{13}{0,33 \cdot 2731} = 0,014 \text{ хв.}$$

Оскільки отворів шість і вони розташовані три навпроти трьох, то сумарний основний час складатиме:

$$t_{\Sigma 04} = t_{o4} \cdot 6 = 0,086 \text{ хв.}$$

Сумарний основний час для операції 025 за формулою (1.31):

$$\begin{aligned} t_{\Sigma 0} &= t_{o1} + t_{o2} + t_{o3} + t_{o4}, \\ t_{\Sigma 0} &= 59,3 + 0,03 + 0,54 + 0,086 = 60 \text{ хв.} \end{aligned} \quad (1.31)$$

Допоміжний час розраховується за формулою (1.32):

$$t_d = t_{\text{уст/зн}} + t_{\text{кер}} + t_{\text{ш.в}} + t_{\text{ш.п}} + t_{\text{зам.інстр}} + t_{\text{контр.}}, \text{ хв,} \quad (1.32)$$

де $t_{\text{уст/зн}}$ – час на установку та зняття деталі;

$t_{\text{ш.в.}}$ – швидке відведення інструмента;

$t_{\text{ш.п.}}$ – швидке підведення інструмента;

$t_{\text{зам.інстр}}$ – заміна інструмента;

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, що розраховується за формулою (1.33):

$$t_{\text{контр}} = k \cdot t_{\text{к.в}}, \text{ хв}, \quad (1.33)$$

де k – коефіцієнт періодичності: $k = 0,5$;

$t_{\text{к.в}}$ – контрольні вимірювання;

$t_{\text{кер}}$ – час на керування верстатом, що розраховується за формулою (1.34):

$$t_{\text{кер}} = t_{\text{вмик/вимк}} \cdot i + t_{\text{пер.с}} \cdot j + t_{\text{пер.п}} \cdot k + t_{\text{щ.від стр}} \cdot m, \text{ хв}, \quad (1.34)$$

де i, j, k, m – коефіцієнти кількості виконання даної операції;

$t_{\text{вкл/выкл}}$ – час на вмикання та вимикання верстата;

$t_{\text{пер.с}}$ – час на налаштування подачі;

$t_{\text{пер.п}}$ – час на налаштування обертів;

$t_{\text{щ. від стр.}}$ – підйом та опускання щитка від стружки;

Додатково при розрахунку нормування допоміжного часу для дрібносерійного виробництва використовується коефіцієнт k_0 , що дорівнює 1,85 [13, с.101].

Дані для розрахунку часу на керування верстатом:

а) $t_{\text{уст/зн}} = 0,06 \cdot 1,85 = 0,11 \text{ хв}$ [13, табл.5.6, с.199];

б) $t_{\text{вмик/вимк}} = 0,01 \cdot 1,85 = 0,0185 \text{ хв}$ [13, табл.5.8, с.208];

в) $t_{\text{пер.с}} = t_{\text{пер.п}} = 0,04 \text{ хв}$ [14, к.64, с.442];

г) $t_{\text{щ.від стр}} = 0,16 \text{ хв}$ [14, к.64, с.442].

Отже, підставимо усі відомі значення до формули (1.34):

$$t_{\text{кер}} = 0,0185 \cdot 2 + 0,04 \cdot 1 + 0,04 \cdot 1 + 0,16 \cdot 2 = 0,44 \text{ хв}.$$

Дані для розрахунку допоміжного часу:

а) $t_{ш.п.} = t_{ш.в} = (0,04 + 0,04) \cdot 1,85 = 0,148$ хв [13, табл.5.8, с.203];

б) $t_{к.в1} = 0,21 \cdot 1,85 = 0,38$ хв – виконується контроль деталі штангенциркулем [13, табл.5.16, с.209];

в) $t_{к.в2} = 0,16 \cdot 1,85 = 0,3$ хв – контроль деталі штангенглибиноміром [13, табл.5.16, с.209].

Сумарне значення контрольних вимірювань:

$$\Sigma t_{к.в.} = t_{к.в.1} + t_{к.в.2} = 0,38 + 0,3 = 0,68 \text{ хв.}$$

Підставимо усі відомі значення у формулу (1.33):

$$t_{контр} = 0,5 \cdot 0,68 = 0,34 \text{ хв.}$$

Час на зміну інструмента:

а) $t_{зм.інстр} = 0,03 \cdot 1,85 = 0,055$ хв. [13, табл.5.18, с.209].

Підставимо усі відомі значення у формулу (1.32):

$$t_d = 0,11 + 0,44 + 0,148 + 0,055 + 0,34 = 1,093 \text{ хв.}$$

Розрахунок штучного часу проводитиму за формулою (1.35):

$$t_{шт} = t_o + t_d + t_{приб}, \text{ хв,} \quad (1.35)$$

де $t_{приб}$ – додатковий час, що розраховується за формулою (1.36):

$$t_{приб} = \alpha_{\Sigma} \cdot t_o, \quad (1.36)$$

де α_{Σ} – норматив час на техобслуговування верстата, організацію та обслуговування робочого місця, особисті потреби тощо [13, табл.6.1, с.214].

Приймаю $\alpha_{\Sigma} = 7 \%$. Підставляю значення у формулу (1.35):

$$t_{\text{шт}} = 60 + 1,093 + 0,07 \cdot 60 = 65,2 \text{ хв.}$$

Підготовчо-завершальний час розраховую за формулою (1.37):

$$t_{\text{п-з}} = t_{\text{п-з1}} + t_{\text{п-з2}}, \text{ хв,} \quad (1.37)$$

де $t_{\text{п-з1}}$, $t_{\text{п-з2}}$, $t_{\text{п-з3}}$ – підготовчо-завершальний час при роботі на верстатах фрезерної групи [13, табл.6.5, с. 217]:

$$t_{\text{п-з1}} = 12 \text{ хв, } t_{\text{п-з2}} = 4 \text{ хв.}$$

$$t_{\text{п-з}} = 12 + 4 = 16 \text{ хв.}$$

Розрахунок штучно-калькуляційного часу проводитиму за формулою (1.38):

$$t_{\text{шт-к}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{п-з}}}{n}, \text{ хв,} \quad (1.38)$$

де n – об'єм партії: $n = 100$ деталей:

$$t_{\text{шт-к}} = 65,2 + \frac{16}{100} = 65,36 \text{ хв.}$$

Розрахунок норми вироблення продукції у зміну для серійного виробництва за формулою (1.39):

$$q_{\text{см}} = \frac{f_{\text{зм}}}{t_{\text{шт-к}}}, \quad (1.39)$$

де $f_{\text{зм}}$ – тривалість зміни; приймаю $f_{\text{зм}} = 480$ хв:

$$q_{\text{см}} = \frac{480}{65,36} = 7,34 \approx 7 \text{ деталей за зміну.}$$

1.8 Розробка технологічної операції на високопродуктивному верстаті з ЧПК

Симуляція обробки фланця на високопродуктивному верстаті за допомогою САМ-модулю SIEMENS NX. На рисунку 1.14 представлено загальний вигляд заготовки та деталі на операції 025 Свердлильно-фрезерна з ЧПК.

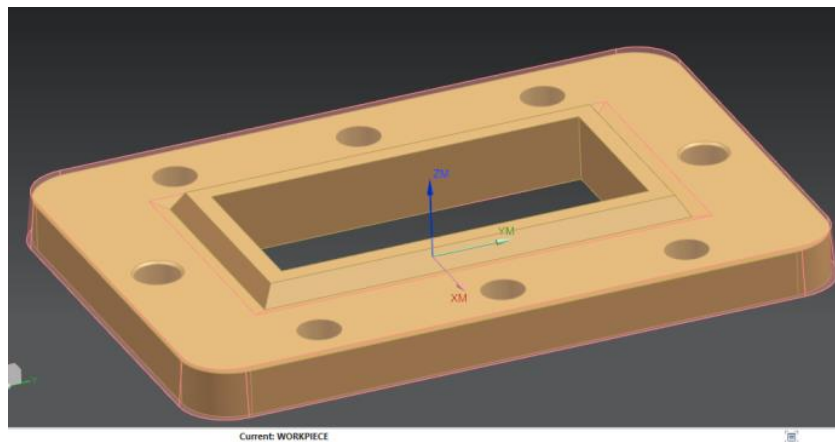


Рисунок 1.14 – Загальний вигляд заготовки та деталі на операції (жовтий контур – деталь; червоний - заготовка)

1.8.1 Розробка фрезерного переходу

На рис. 1.15 представлено траєкторію руху інструмента. Зображення інструмента та заготовки в процесі обробки представлено на рис. 1.16.

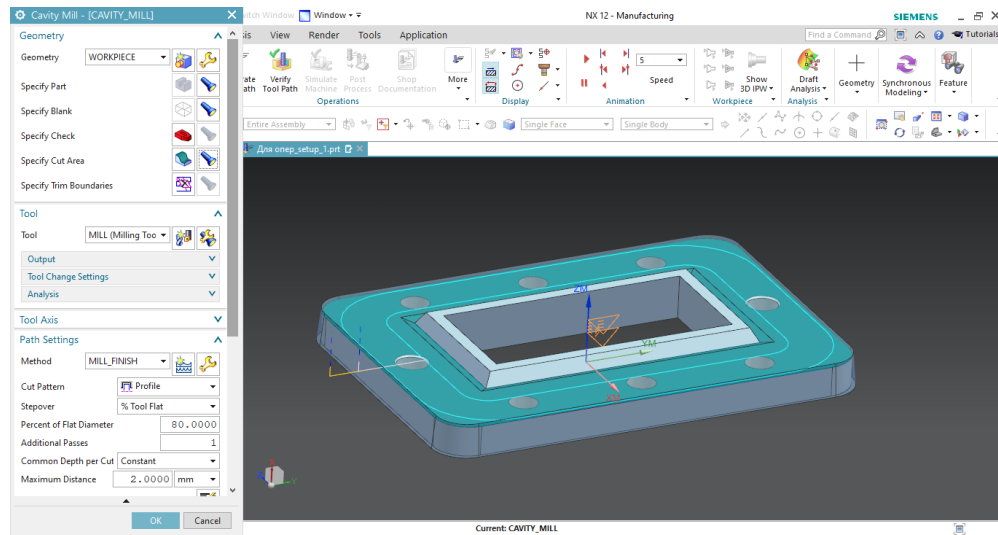


Рисунок 1.15 – Траєкторія руху фрези

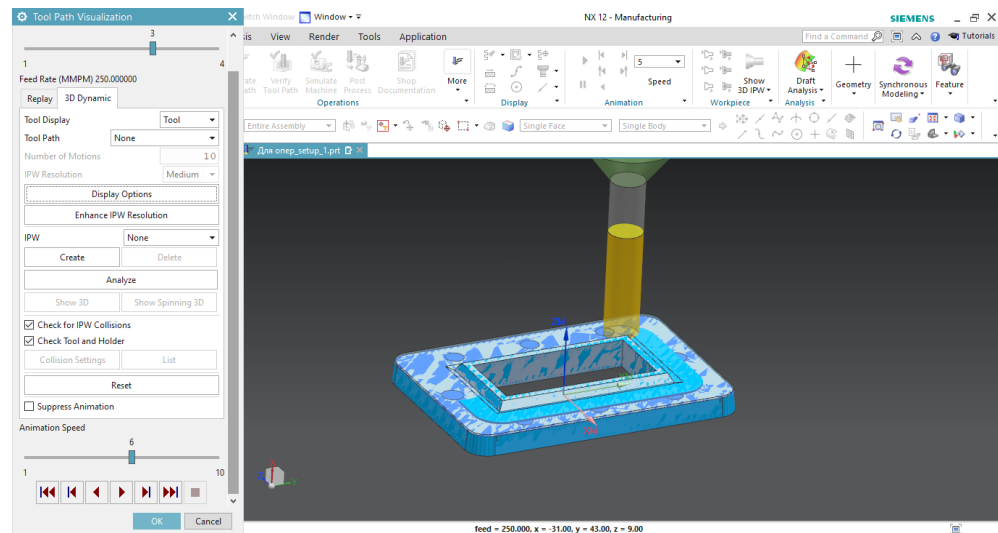


Рисунок 1.16 – Інструмент (фреза) і заготовка в процесі обробки

1.8.2 Розробка свердлильного переходу ($\varnothing 9^{+0,36}$ мм)

На рис. 1.17 представлено траєкторію руху інструмента. Зображення інструмента та заготовки в процесі обробки представлено на рис. 1.18.

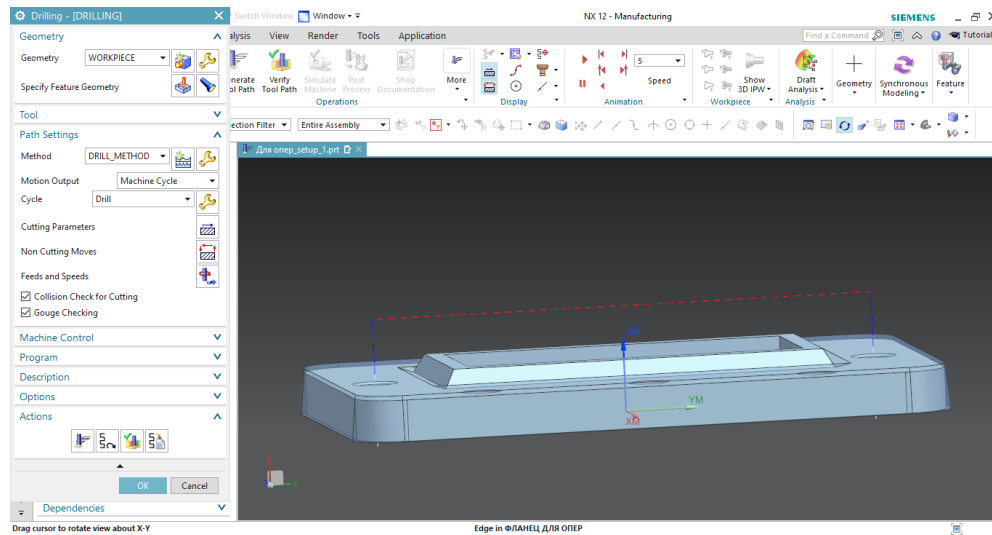


Рисунок 1.17 – Траєкторія руху свердла

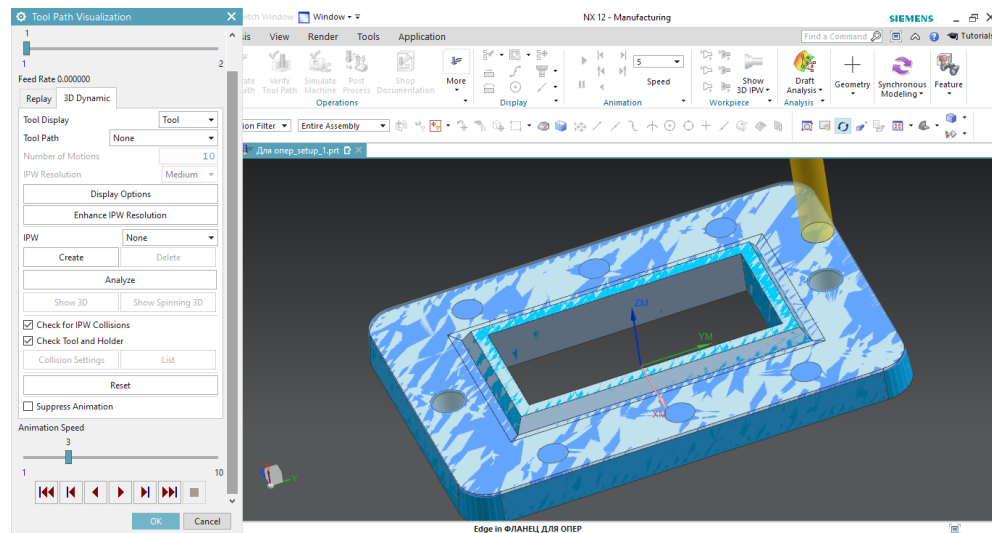


Рисунок 1.18 – Інструмент (свердло) та заготовка в процесі обробки

1.8.3 Розробка зенкувального переходу (для $\varnothing 9^{+0,36}$ мм)

На рис. 1.19 представлено траєкторію руху інструмента. Зображення інструмента та заготовки в процесі обробки представлено на рис. 1.20.

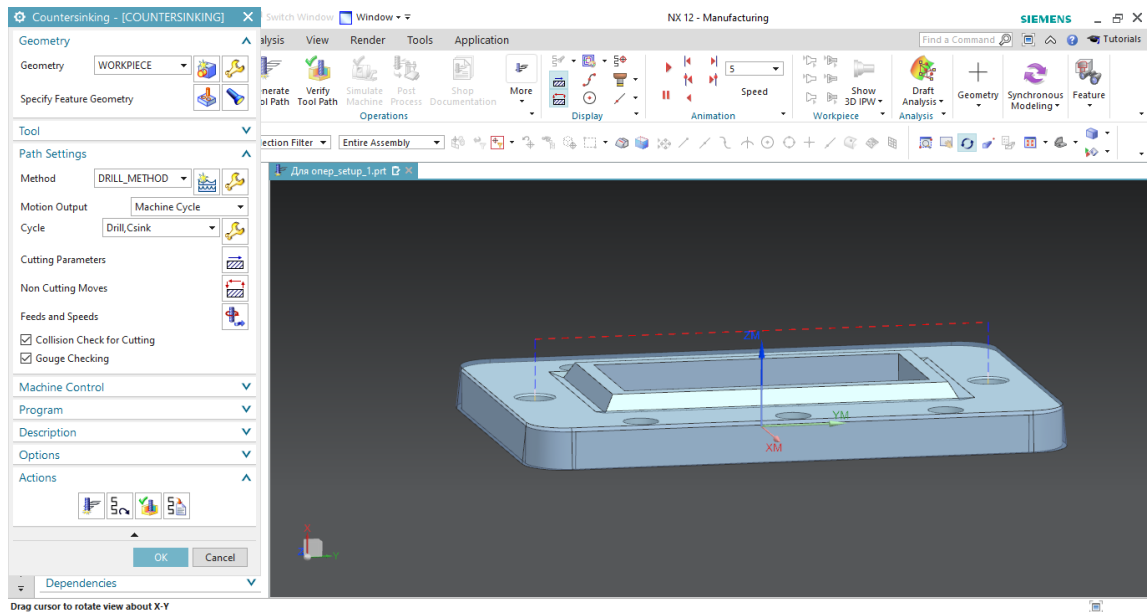


Рисунок 1.19 – Траєкторія руху зенкування

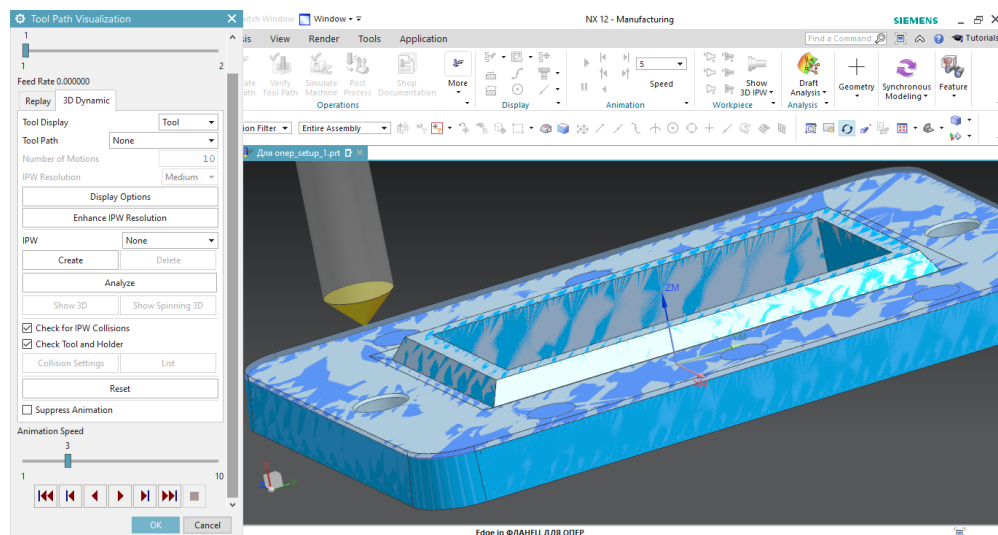


Рисунок 1.20 – Інструмент (зенковка) та заготовка в процесі обробки

1.8.4 Розробка свердлильного переходу ($\varnothing 8,5^{+0,36}$ мм)

На рис. 1.21 представлено траєкторію руху інструмента. Зображення інструмента та заготовки в процесі обробки представлено на рис. 1.22.

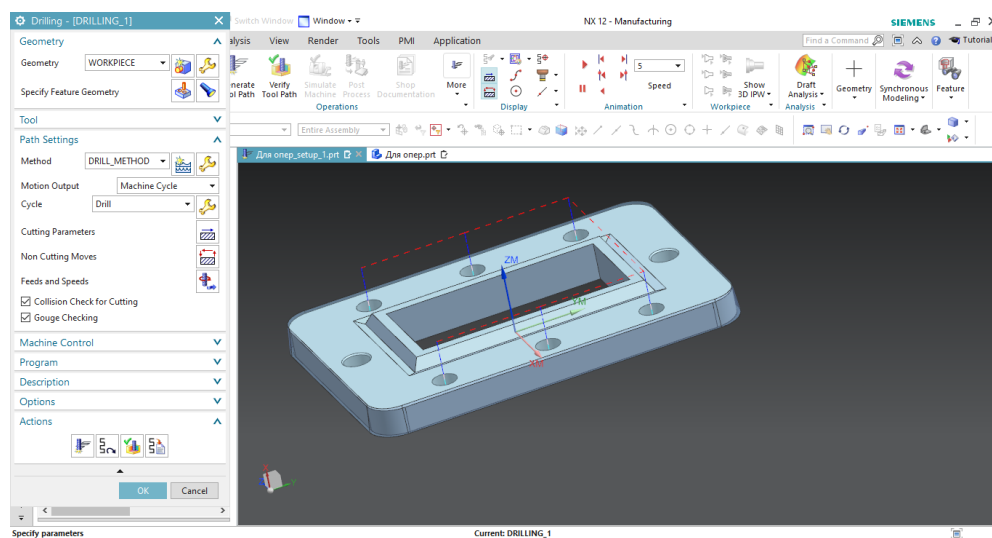


Рисунок 1.21 – Траєкторія руху свердла

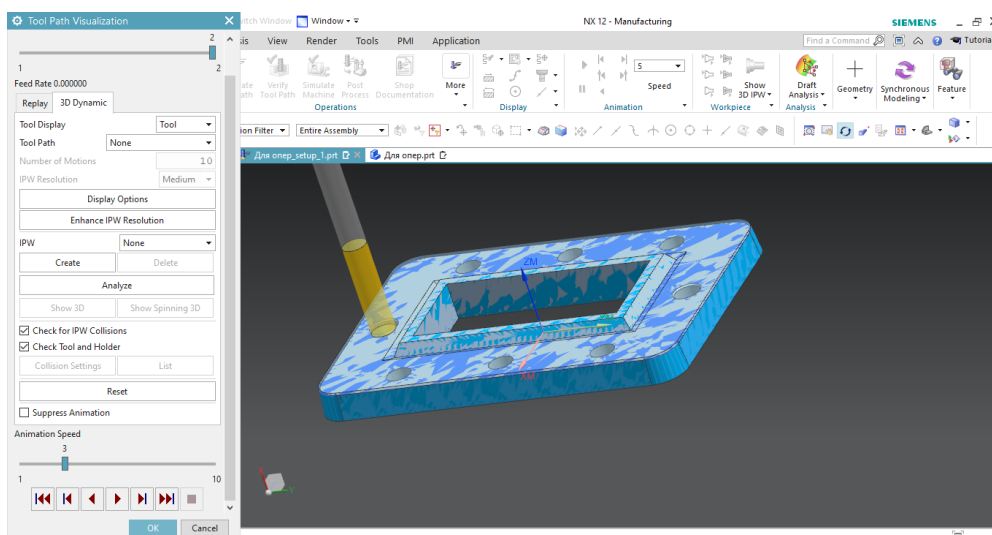


Рисунок 1.22 – Інструмент (свердло) та заготовка в процесі обробки

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція і принципи роботи пристосування

Фланець ставиться на плиту (поз.1) та встановлюється на два пальці (поз.7) двома отворами розміром $\varnothing 9^{+0,36}_{-0,00}$ мм. Один палець зрізаний.

За допомогою прихвата (поз.2), гвинта, гайки та шайби (поз.3,4 та 5), вся ця конструкція міцно притискає фланець до плити.

Плита встановлюється на стіл верстата за допомогою двох шпонок (поз.8), що кріпляться до плити двома гвинтами (поз.9).

Пружина (поз.6) слугує амортизацією при знятті гайки, шайби та прихвата після механічної обробки. Ескіз робочого пристосування представлено на рис. 2.1. Специфікація пристосування представлена в дод.А.

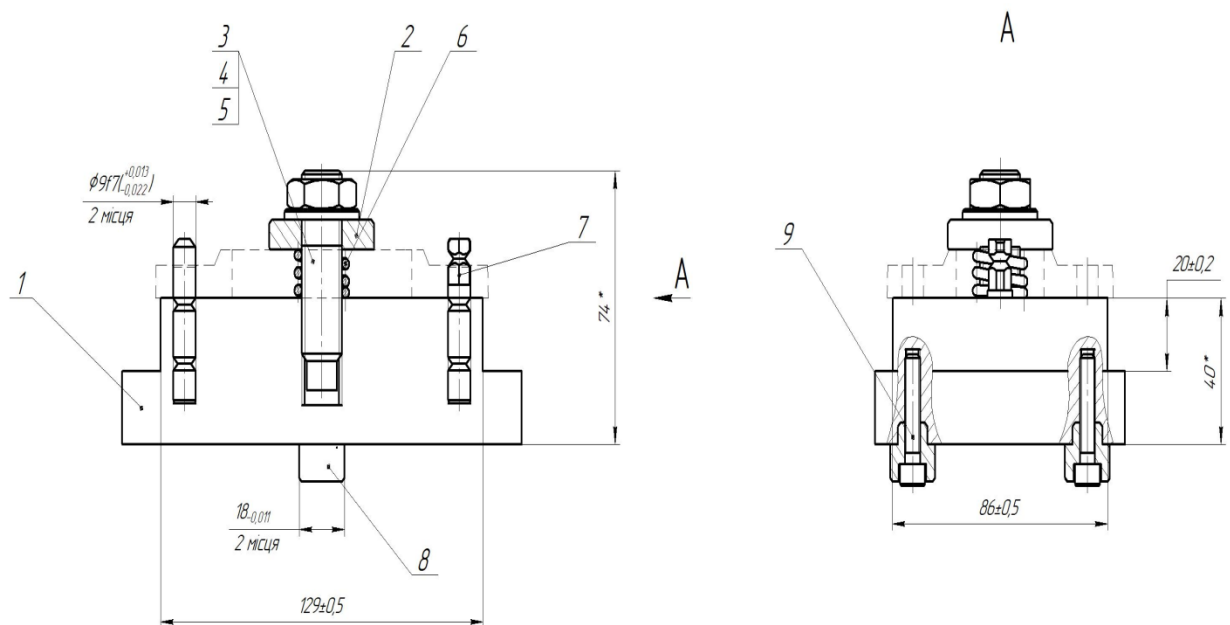


Рисунок 2.1 – Ескіз робочого пристосування

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

Сума похибок базування та закріплення визначає загальну похибку установки, що розраховується за формулою (2.1):

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{закр}}^2}, \text{ мм}, \quad (2.1)$$

де $\varepsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування, мм;

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення, мм.

Для заданої схеми базування (рис.2.2) похибка базування $\varepsilon_{\text{баз}}$ розраховуватиметься за формулою (2.2):

$$\varepsilon_{\text{баз}} = S_{\text{max}}, \text{ мм}, \quad (2.2)$$

де S_{max} – максимальне значення зазору між отвором та пальцем.

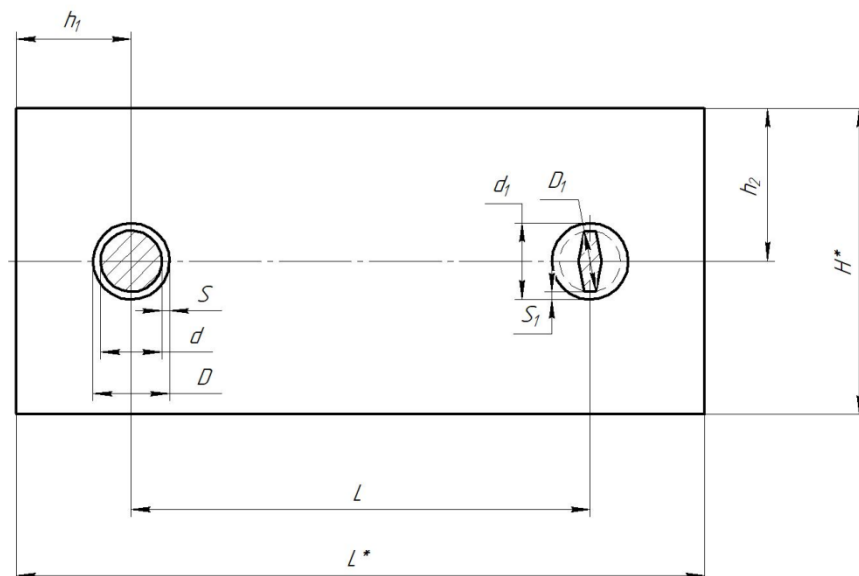


Рисунок 2.2 – Схема базування деталі «фланець»

Розмір, який контролюється при обробці: $L = 110 \pm 0,2$ мм. Допуск на цей розмір дорівнює $T_d = 0,4$ мм.

Допуск на розмір отвору $\varnothing 9H14(^{+0,36})$ мм: $Td_1 = 0,36$ мм; допуск на діаметр пальцю $\varnothing 9f7(^{+0,013}_{-0,022})$ мм: $Td_2 = 0,035$ мм. Схема полів допуску представлена на рис. 2.3.

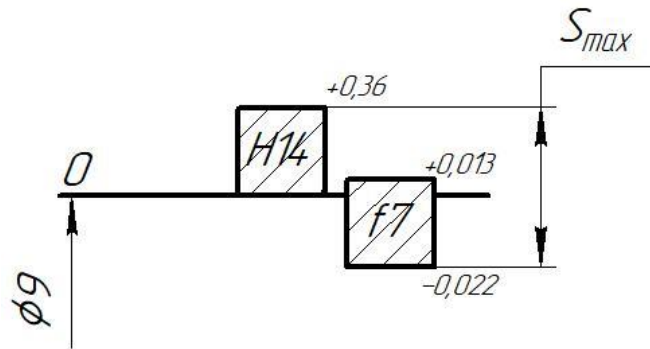


Рисунок 2.3 – Схема полів допуску на діаметри отвору та пальцю

За рис.2.2 максимальне значення зазору між пальцем і отвором дорівнюватиме: $S_{\max} = 0,36 + 0,022 = 0,382$ мм, отже похибка $\varepsilon_{\text{баз}} = 0,382$ мм. Похибка базування входить в допуск контрольованого розміру $Td = 0,4$ мм.

Похибка закріплення визначається за [15, табл.4.2в, с.136]. Матимемо $\varepsilon_{\text{закр}} = 0,08$ мм.

Підставивши усі відомі значення до формули (2.1):

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \sqrt{0,382^2 + 0,08^2} = 0,39 \text{ мм.}$$

Для забезпечення необхідної точності обробки деталі при конструюванні пристосування необхідно обрати таку схему, за якою буде виконуватися умова:

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{\text{дод}}, \text{ мм,} \quad (2.3)$$

де $\varepsilon_{\text{дод}}$ – додатне значення похибки, що розраховується за формулою (2.4):

$$\varepsilon_{\text{дод}} = \delta - \omega, \text{ мм,} \quad (2.4)$$

де $\delta = 0,4$ мм – допуск розміру, що треба витримувати під час обробки;

$\omega = 0,06$ мм – середня економічна точність обробки поверхні,

що виходить на операції фрезерування [43, табл.В6, с.31].

$$\varepsilon_{\text{дод}} = 0,4 - 0,06 = 0,394 \text{ мм.}$$

Дійсне значення похибки базування $\varepsilon_{\text{баз}} = 0,382$ мм. Отримаємо:

$0,382 \leq 0,394$ ($\varepsilon \leq \varepsilon_{\text{дод}}$). Необхідна умова точності виконується.

Сумарна похибка обробки на пристосуванні $\varepsilon_{\text{ПР}}$ визначається за формулою (2.5) [15, с.162]:

$$\sum \varepsilon_{\text{ПР}} = k_1 \cdot \varepsilon_{\text{баз}} \cdot \varepsilon_{\text{закр}} + k_2 \cdot \omega + T_{\text{пр}}, \text{ мм,} \quad (2.5)$$

де $T_{\text{пр}}$ – допуск на виготовлення пристосування: $T_{\text{пр}} = 0,1$ мм;

k_1 – коефіцієнт, що враховує відхилення позиціонування

значень складових величин від знаку нормального розподілу: $k_1 = 0,8$;

k_2 – коефіцієнт зменшення величини ω , яким враховується доля похибок обробки, які визиваються факторами, що не залежать

від пристосування: $k_2 = 0,6$;

ω – середня економічна точність обробки поверхні, що виходить

на операції фрезерування: $\omega = 0,06$ мм [43, табл.В6, с.31];

$\varepsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування: $\varepsilon_{\text{баз}} = 0,382$ мм.

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення: $\varepsilon_{\text{закр}} = 0,08$ мм [15, табл.4.2в, с.136].

Для забезпечення необхідної точності обробки необхідно дотримуватися умови (2.6):

$$\sum \varepsilon_{\text{ПР}} \leq Td, \text{ мм.} \quad (2.6)$$

Підставимо усі відомі значення у формулу (2.5):

$$\sum \varepsilon_{\text{ПР}} = 0,8 \cdot 0,382 \cdot 0,08 + 0,6 \cdot 0,06 + 0,1 = 0,16 \text{ мм.}$$

Умова (2.6) виконується: $0,16 \leq 0,4$, отже пристосування вважається точним.

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу

Попередньо розрахую силу різання, обертальний момент та ефективну потужність.

Сила різання при фрезеруванні визначається за формулою (2.7):

$$P_z = \frac{10C_P t^x s_z^y B^n z}{D^q n^w} \cdot K_{MP}, \text{ Н,} \quad (2.7)$$

де t – глибина різання: $t = 3$ мм;

s – подача: $s = 0,02$ мм/об;

B – ширина фрезерування: $B = 10$ мм;

z – кількість зубців фрези: $z = 3$;

n – частота: $n = 602$ об/хв;

D – діаметр фрези; $D = 16$ мм.

Визначаємо коефіцієнти та показники ступенів [46, табл.41, с.291]:

$C_P = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $n = 1,0$; $q = 0,86$; $w = 0$.

Коригувальний коефіцієнт визначається за формулою (2.8):

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \quad (2.8)$$

де σ_B – границя пружності при розтягуванні; $\sigma_B = 150$ МПа;

n – показник ступеню при визначенні колової сили різання P_z при фрезеруванні [46, табл.9, с.264].

Підставимо значення у формулу (2.8):

$$K_{MP} = \left(\frac{150}{750}\right)^{0,3} = 0,62.$$

Отримане значення K_{MP} підставимо у формулу (2.7):

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,02^{0,72} \cdot 10^1 \cdot 3}{16^{0,86} \cdot 602^0} \cdot 0,62 = 179,85 \text{ Н.}$$

Обертальний момент визначимо за формулою (2.9):

$$M_{KP} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.9)$$

де D – діаметр фрези.

$$M_{KP} = \frac{179,85 \cdot 16}{200} = 14,3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Ефективна потужність різання визначається за формулою (2.10):

$$N_{EF} = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт}, \quad (2.10)$$

де V – швидкість різання: $V = 30,24 \text{ мм/хв.}$

$$N_{EF} = \frac{179,85 \cdot 30,24}{1020 \cdot 60} = 0,08 \text{ кВт.}$$

Далі визначимо коефіцієнт запасу сил затискання за [46, с.85]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (2.11)$$

де $k_0 = 1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу;

$k_1 = 1$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання внаслідок випадкових нерівностей на поверхні, що оброблюється;

$k_2 = 1,6$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при зношуванні інструмента;

$k_3 = 1$ – коефіцієнт, що враховує умови змінної обробки;

$k_4 = 1,3$ – коефіцієнт, що характеризує затискний прилад з точки зору сталості сил;

$k_5 = 1$ – коефіцієнт, що характеризує ручні затискачі з точки зору зручності закріплення;

$k_6 = 1$ – коефіцієнт, що залежить від наявності обертальних моментів та виду поверхні пристосування.

Визначимо коефіцієнт запасу k :

$$k = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 = 3,12.$$

Розрахунок дійсної сили закріплення проводитиму виходячи з наступного роздуму: в процесі обробки на деталь зі сторони ріжучого інструмента діють сили різання, що прагнуть змістити її з установчих площин чи елементів. Для того, аби цього не сталося деталь необхідно закріпити.

Активна сила P_z намагатиметься змістити деталь. У протидію їй дві сили тертя (T) направлені в протилежну сторону і знаходяться в точках контакту поверхні деталі з пальцями (рис. 2.4). Дія сили P_y при складанні рівняння рівноваги не враховується і компенсується значенням коефіцієнта $k_0 = 1,5$.

Складаю рівняння рівноваги сил відносно осі X :

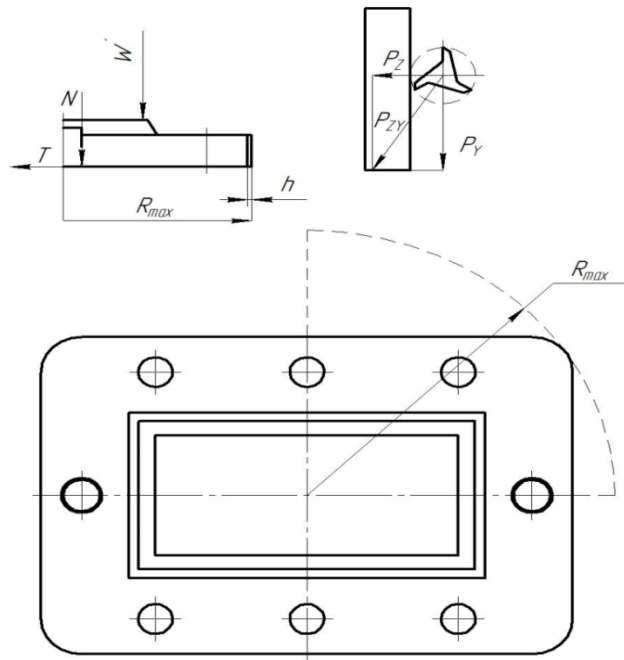


Рисунок 2.4 – Схема прикладених сил при фрезеруванні контуру

$$k \cdot \sum M_{\text{акт}0} - \sum M_{\text{пр}0} = 0, \quad (2.11)$$

де $\sum M_{\text{акт}0}$ – сума моментів активних сил, що розраховується за формулою (2.12):

$$\sum M_{\text{акт}0} = P_z \cdot (R_{\text{max}} - h), \text{ Н}, \quad (2.12)$$

де R_{max} – найбільший радіус деталі, по якому вписується в коло, мм;

h – товщина слою, що знімається фрезою, мм.

За умовою: сили тертя однакові в точках контакту обох пальців з поверхнею деталі $T_1 = T_2 = T$, тому сума моментів протидіючих сил розраховується за формулою (2.13):

$$\sum M_{\text{пр}0} = 2T \cdot R_{\text{max}}, \text{ Н}. \quad (2.13)$$

Рівняння суми моментів сил приймає наступний вигляд:

$$k \cdot P_z \cdot (R_{max} - h) - 2T \cdot R_{max} = 0, \quad (2.14)$$

де T – сила тертя, розраховується за формулою (2.15):

$$T = f \cdot N, \text{ Н}, \quad (2.15)$$

де f – коефіцієнт тертя між поверхнею деталі та пальцями:

$$f = f_1 = f_2 = 0,2 \text{ [46, табл.10, с.85];}$$

N – нормальна сила, що розраховується за формулою (2.16):

$$N = \frac{W}{2 \cdot \sin(\alpha/2)}, \text{ Н}, \quad (2.16)$$

де $\alpha = 180^\circ$ – кут площини контакту.

Підставляю усі значення у формулу (2.14). Отримую рівність та виражаю через нього значення, що необхідно знайти: силу закріплення:

$$k \cdot P_z \cdot (R_{max} - h) = 2f \cdot \frac{W}{2 \cdot \sin(\frac{\alpha}{2})} \cdot R_{max},$$

$$W = \frac{k \cdot P_z \cdot (R_{max} - h) \cdot \sin(\frac{\alpha}{2})}{f \cdot R_{max}}.$$

Шукана сила закріплення:

$$W = \frac{3,12 \cdot 179,85 \cdot (75 - 2) \cdot 1}{0,2 \cdot 75} = 2730,8 \text{ Н}.$$

Отримане значення зусилля затискання достатньо для того, аби протидіяти силі різання, що діє на деталь в процесі обробки. Далі обиратиму вид та проводитиму розрахунок для затискного механізму.

Виходячи з типу виробництва – дрібносерійне – проектуватиму спеціальне пристосування для фрезерування.

В якості затискного механізму обираю затискання гвинтом, оскільки просте у використанні, зручне і з можливістю затискати заготовку з більшою силою.

Визначаю силу P , котра діє зі сторони прикладання зусилля робітника за допомогою гайкового ключа. Для цього умовно звільню прихват від деталі та затискача і замість них позначу силами реакції деталі $W' = W/2 = 1365,4 \text{ Н}$, що діють на прихват з обох боків. Схема для розрахунку сил, діючих на прихват представлена на рис. 2.5.

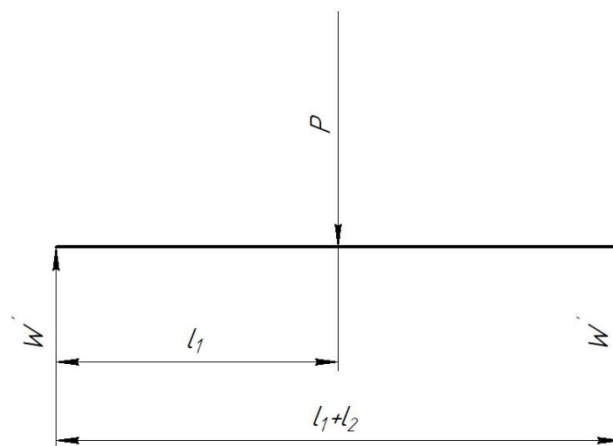


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема прихвата

З умови рівноваги прихвата виходить, що сума моментів сил P та W : $M\Sigma_o(F_i) = 0$. Отже за рівнянням (2.17) матимемо рівність:

$$W' \cdot (l_1 + l_2) - P \cdot l_1 = 0. \quad (2.17)$$

Розраховуючи рівняння відносно сили P , матимемо:

$$P = \frac{W' \cdot (l_1 + l_2)}{l_1} = \frac{1365,4 \cdot (21 + 21)}{21} = 2730,8 \text{ Н}.$$

Таким чином, гвинтовий зажим повинен забезпечувати тиск на прихват $P = 2730,8 \text{ Н}$, щоб затискати деталь з силою $W' = 1365,4 \text{ Н}$ з обох боків.

Проводжу розрахунок найбільш навантаженої деталі пристосування – гвинта – за [47] на міцність для того, щоб обрати необхідні геометричні параметри для конструювання. Попередньо обираю матеріал гвинта: сталь марки 45; клас міцності 6,6; межа текучості $\sigma_t = 360 \text{ МПа}$.

Визначаю допустиме напруження для матеріалу гвинта за формулою (2.18):

$$[\sigma_{c(p)}] = \frac{\sigma_t}{S_t}, \quad (2.18)$$

де σ_t – межа текучості; $\sigma_t = 360 \text{ Н/мм}^2$;

$S_t = 2,5 \dots 4$ – коефіцієнт запасу міцності; приймаю $S_t = 4$.

$$[\sigma_{c(p)}] = \frac{360}{4} = 90 \text{ Н/мм}^2.$$

Визначаю середній діаметр різі за формулою (2.19) з врахуванням умови на зносостійкість:

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \psi_H \cdot \psi_h \cdot [p_{зм}]}} \text{, мм}, \quad (2.19)$$

де $F = 2730,8 \text{ Н}$ – осьове навантаження;

$\psi_H = 1,2 \dots 2,5$ – коефіцієнт висоти гайки; приймаю $\psi_H = 2$;

ψ_h – коефіцієнт висоти метричної нарізі ; приймаю $\psi_h = 0,5$;

$[p_{зм}]$ – середній тиск в нарізі; для передачі гвинт – гайка (сталь по сталі):

обираю $[p_{зм}] = 16 \text{ Н/мм}^2$ [47, табл.3, с.14].

Підставимо усі відомі дані в формулу (2.18) для знаходження середнього діаметру:

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{2730,8}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 16}}$$

$$d_2 \geq 7,37 \text{ мм.}$$

За ГОСТ 9150-89 приймаю метричну нарізь з наступними параметрами:

- d – зовнішній діаметр нарізі: $d = 16 \text{ мм}$;
- d_2 – середній діаметр нарізі: $d_2 = 14,701 \text{ мм}$;
- d_1 – внутрішній діаметр нарізі: $d_1 = 13,835 \text{ мм}$;
- P – шаг нарізі: $P = 2 \text{ мм}$.

Необхідно виконувати умову самогальмування (2.20):

$$\psi \leq \varphi' [43, \text{с.11}], \quad (2.20)$$

де $\psi = \arctg\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right)$ – кут підйому гвинтової лінії нарізі;

$\varphi' = \arctg\left(\frac{f}{\cos \gamma}\right)$ – приведений кут тертя, в якому:

а) f – коефіцієнт тертя в нарізі: для сталюого гвинта та сталевій гайки приймаю $f = 0,18$;

б) γ – кут нахилу робочої сторони профілю нарізі: для метричної нарізі $\gamma = 30^\circ$.

Перевіримо умову самогальмування:

$$\arctg\left(\frac{2}{3,14 \cdot 14,701}\right) \leq \arctg\left(\frac{0,18}{\cos 30^\circ}\right),$$

$$2,48 \leq 11,74.$$

Умова самогальмування виконується.

Попередньо обрані розміри гвинта сконструйованої гвинтової передачі перевіряю на міцність при взаємодії напруження стискання (розтягу) та кручення в небезпечному перерізі.

Умова міцності гвинта по еквівалентному навантаженню за формулою (2.21):

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_{c(p)}^2 + 3 \cdot \tau_{кр}^2} \leq [\sigma_{c(p)}], \text{ Н/мм}^2 \text{ [47, с.11]}, \quad (2.21)$$

де $\sigma_{c(p)} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2}$ – напруження стискання (розтягу), в якому;

а) $F = 2730,8 \text{ Н}$ – осьова сила;

$\tau_{кр} = \frac{T}{W_K}$ – напруження кручення, в якому:

б) $T = T_B = F \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\psi + \varphi)$ – крутильний момент, що необхідно

прикласти гвинту чи гайці для здолання моменту сили тертя в нарізі;

в) $W_K = 0,2 \cdot d^3$ – момент опору кручення перерізу гвинта;

г) $d_2 = 14,701 \text{ мм}$ – середній діаметр нарізі;

д) $[\sigma_{c(p)}] = 90 \text{ Н/мм}^2$ – допустиме напруження для матеріалу гвинта;

ж) $\psi = 2,48^\circ$ – кут підйому гвинтової лінії нарізі;

з) $\varphi = 11,74^\circ$ – приведений кут тертя в нарізі.

Підставимо усі відомі значення до (2.21):

$$\sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} + 3 \cdot \left(\frac{F \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\psi + \varphi)}{0,2 d^3} \right)^2} \leq [\sigma_{c(p)}],$$

$$\sqrt{\frac{4 \cdot 2730,8}{3,14 \cdot 16^2} + 3 \cdot \left(\frac{2730,8 \cdot \frac{14,701}{2} \cdot \text{tg}(2,48 + 11,74)}{0,2 \cdot 16^3} \right)^2} \leq 90,$$

$$\sigma_E = \sqrt{128,9} \leq 90,$$

$$11,3 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2 \leq 90 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2.$$

Міцність гвинта зі сталі 45 забезпечується.

На гвинт зі сторони прихвата діє сила P' , що дорівнює за модулем та протилежна за напрямком силі P : $P = P' = 2730,8$ Н. З іншого боку на гвинт діє момент сили Q (зусилля від руки), прикладений на плече, дорівнює довжині рукоятки ключа L , тобто $M = Q \cdot L$. Залежність між силами Q та P для гвинтового затискача розраховується за формулою (2.22):

$$P = \frac{Q \cdot L}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot r_{cp} \cdot 0,33 \cdot \mu \cdot \frac{D_3^3 - D_B^3}{D_3^2 - D_B^2}}, \text{ Н.} \quad (2.22)$$

Знаючи зусилля P , можна визначити силу затискання Q для забезпечення цього зусилля P . Отримаємо рівняння (2.23):

$$Q = \frac{P \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi) \cdot r_{cp} \cdot 0,33 \cdot \mu \cdot \frac{D_3^3 - D_B^3}{D_3^2 - D_B^2}}{L}, \text{ Н,} \quad (2.23)$$

де d – діаметр гвинта; $d = 16$ мм;

r_{cp} – середній діаметр нарізі гвинта, мм: $r_{cp} = 7,35$ мм;

$\psi = 2,48^\circ$ – кут підйому гвинтової лінії нарізі;

$P = 2730,8$ Н – осьова сила;

$\varphi = 11,74^\circ$ – приведений кут тертя в нарізі;

μ – коефіцієнт тертя між гвинтом та гайкою: приймаю $\mu \approx 0,1$;

D_3, D_B – зовнішній та внутрішній діаметр шайби: $D_3 = 30$ мм, $D_B = 17$ мм;

$L = (12 \dots 15)d$ – довжина рукоятки затискача чи гайкового ключа:

$L = 240$ мм.

Підставимо усі відомі значення до формули (2.22):

$$Q = \frac{2730,8 \cdot \operatorname{tg}(2,48 + 11,74) \cdot 7,35 \cdot 0,33 \cdot 0,1 \cdot \frac{30^3 - 17^3}{30^2 - 17^2}}{240} = 17,8 \text{ Н.}$$

Згідно отриманим результатам розрахунку зусилля $Q = 17,8 \text{ Н}$ на рукоятку гайкового ключа для затискання деталі прихватом з надлишком задовольняє умову необхідного зусилля затискання: $Q = 25 \dots 150 \text{ Н}$.

Вибір приводу проводитиму з умов виконання операцій виходячи з наступних даних:

- 1) типа виробництва: дрібносерійне;
- 2) значення сили різання: $P_z = 179,85 \text{ Н}$;
- 3) матеріал: АД0 – алюміній технічний;
- 4) тип верстата: центр фрезерний вертикальний; марка DMC 635v ecoline.

Затискання деталі на столі верстата відбувається безпосередньо робітником із застосуванням гайкового ключа.

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Пристосування складається з плити, яка стоїть на 4-ьох ніжках, на якій розмістилися: стійка на магніті з індикаторним годинником, обертальний стіл, який закріплений на плиті за допомогою 4-ьох болтів. На стійку вмонтовані 2 пальці. На ці два пальці встановлюється деталь.

Принцип її роботи наступний: фланець встановлюється з зазором на 2 пальці. При цьому горизонтальний зазор між циліндричними пальцями та отворами не впливаю на вимірювання. Одночасно з цим для вимірювання площинності не потрібне точне вертикальне налаштування індикатора. Тому для вимірювання даного допуску індикатор підводиться до контрольованої поверхні так, щоб можна було виміряти як додатні, так і від'ємні значення відхилення. Після чого числове значення на індикаторі знову задають нулем і

виконується вимірювання при повороті деталі. Ескіз пристосування представлено на рис. 2.6. Специфікація пристосування представлена в дод.Б.

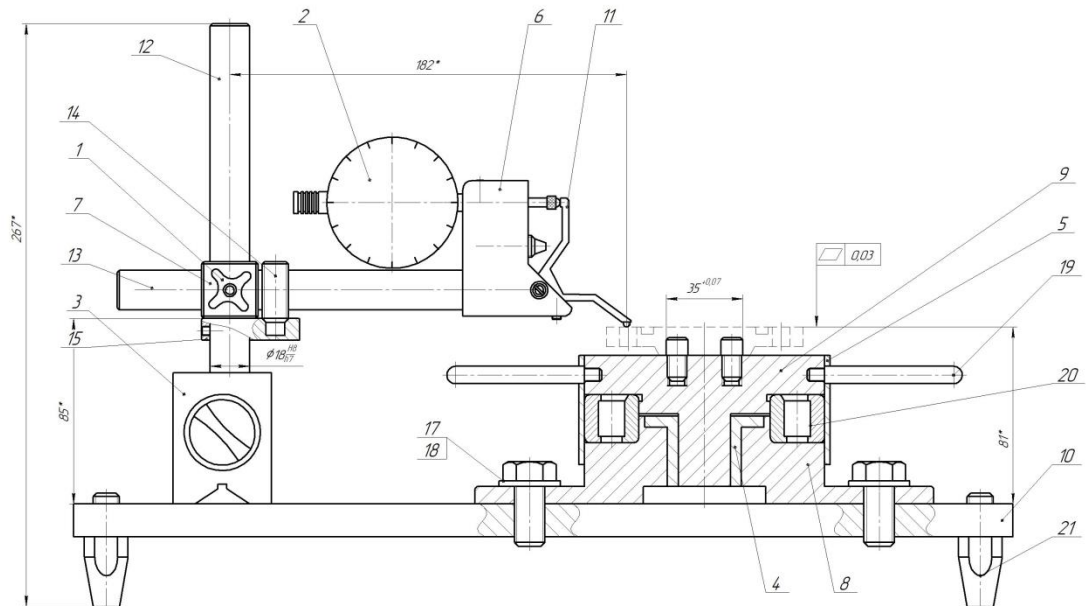


Рисунок 2.6 – Ескіз контрольного пристосування

2.2.2 Розрахунок на точність

Визначення допустимості використання спроектованого контрольного оснащення визначається залежністю:

$$\Delta_{\Sigma} \leq [\epsilon_{\text{изм}}], \quad (2.24)$$

де Δ_{Σ} – сумарна похибка вимірювання;

$[\epsilon_{\text{изм}}]$ – допустима похибка вимірювання в залежності від квалітету.

За контрольований розмір обираю $9 \pm 0,29$ мм, то за [8, дод.Б, с.34] визначаю $[\epsilon_{\text{изм}}] = 0,12$ мм для IT15. Сумарна гранична похибка вимірювання на контрольному пристосуванні розраховується за формулою (2.25):

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{СИ}}^2 + \Delta_{\text{УС}}^2 + \Delta_{\text{Н}}^2 + \Delta_{\text{С}}^2 + \Delta_{\text{М}}^2 + \Delta_{\text{Р}}^2 + \Delta_{\text{СП}}^2 + \Delta l_t^2}, \quad (2.25)$$

де $\Delta_{\text{СП}}$ – похибка вимірювального приладу;

$\Delta_{\text{УС}}$ – похибка установки деталі, яка контролюється, у пристосування.

Визначається (як і для верстатного пристосування) за формулою (2.26):

$$\Delta_{\text{УС}} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}, \quad (2.26)$$

де ε_6 – похибка базування, визначається для конкретної схеми встановлення на основі аналізу геометричних зв'язків;

ε_3 – похибка закріплення, пов'язана зі зміщенням деталі, яка контролюється, від номінального положення під дією сили затискання;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – регламентована похибка виготовлення, збирання, регулювання, а також зношування опор та вимірювального приладу.

$\Delta_{\text{Н}}$ – похибка налаштування контрольно-вимірювального пристосування за еталоном чи установчим виміром;

$\Delta_{\text{С}}$ – суб'єктивна похибка, яка залежить від способу фіксації результату виміру, ціною поділки, розташування шкали та кваліфікації робітника;

$\Delta_{\text{Р}}$ – похибка передатних пристроїв;

$\Delta_{\text{М}}$ – похибка, яка властива лише самій схемі вимірювання і виникає від недосконалості методу вимірювання;

$\Delta_{\text{М}}$ приймається як $(0,5 \dots 0,25) \cdot \varepsilon_{\text{изм}}$;

$\Delta_{\text{СП}}$ – специфічна похибка, яка обумовлена квантування за рівнем безперервно вимірюваної величини цифровими приладами;

Δl_t – похибка від температурних деформацій; $\Delta l_t = 0$.

За ГОСТ 577-68 обраний індикатор годинникового типу ИЧ10Б кл.1 має похибку 0,01 мм. Отже похибка вимірювального приладу має значення $\Delta_{\text{СИ}} = 0,01$ мм.

Фланець встановлюється площиною на плиту пристосування та прямокутним отвором на 2 пальці. Поверхні мають щільний контакт, тому горизонтальний зазор між двома поверхнями та зазор між пальцями та поверхнями не впливає на вимірювання по вертикальній площині. Для вимірювання у горизонтальній площині не потрібне точне налаштування індикатора. Отже похибка базування складатиме $\varepsilon_6 = 0$. Похибка закріплення $\varepsilon_3 = 0$, оскільки на деталь жодним чином не прикладається відчутне зусилля.

Регламентована похибка виготовлення, збирання, регулювання, а також зношування опор та вимірювального приладу можна прийняти $\varepsilon_{пр} = 0$ мм. Оскільки враховується лише зношування, яке відбувається з-за періодичними налаштуваннями пристосування. Загальна похибка дорівнює $\Delta_{уС} = 0$.

Похибка $\Delta_H = 0$, оскільки точне налаштування індикатора на необхідний розмір з використанням еталонів не потрібне.

Суб'єктивна похибка має найбільше значення при половині ціни поділки шкали вимірювання пристроєм (індикаторним годинником), тобто $\Delta_C = 0,005$ мм.

Похибку Δ_M приймаю 0,03 мм.

Специфічна похибка дорівнює значенню Δ_C , тобто $\Delta_{СП} = 0,005$ мм.

Похибку передатних пристроїв Δ_P розраховую за формулою (2.27):

$$\Delta_P = \sqrt{\Delta_{P1}^2 + \Delta_{P2}^2 + \Delta_{P3}^2 + \Delta_{P4}^2 + \Delta_{P5}^2}, \quad (2.27)$$

де Δ_{P1} – похибка від неточності виготовлення важеля;

Δ_{P2} – похибка від зазору між отвором та віссю важеля;

Δ_{P3} – похибка від непропорційності між лінійним переміщенням вимірювального стрижня та кутовим переміщенням важеля;

Δ_{P4} – похибка від зміщення точки контакту сферичного оскіпа при повороті плоского важеля;

Δ_{P5} – похибка прямої передачі.

Похибка від неточності виготовлення важеля розраховується за формулою (2.28):

$$\Delta_{P1} = \left(1 - \frac{l_{2min}}{l_{1min}}\right) \cdot a_1, \quad (2.28)$$

де l_1 та l_2 – плечі важеля, мм;

a_1 – значення переміщення важеля при вимірюванні.

Розглядаю важіль (див. рис. 2.5) з розмірами плеч $l_1 = l_2 = 40 \pm 0,25$ мм. Величину переміщення важеля при вимірюванні приймаю рівним допуску відхилення, яке вимірюється: $a_1 = 0,03$ мм. Підставляю значення в формулу зазначену вище. Матиму:

$$\Delta_{P1} = \left(1 - \frac{39,75}{40,25}\right) \cdot 0,03 = 0,00036 \text{ мм.}$$

Похибка від зазору між отвором та віссю важеля визначаю за формулою (2.29):

$$\Delta_{P2} = \frac{0,5 \cdot S_{max} \cdot (l_1 + l_2)}{l_1}, \quad (2.29)$$

де S_{max} – величина максимального зазору в шарнірі важеля, мм.

Для закріплення важеля була обрана вісь: вісь 7018-0285 h6 ГОСТ 12469-67. Вона з'єднується з важелем по посадці $\emptyset 6 \frac{H7(+0,012)}{h6(-0,008)}$. Максимальний зазор дорівнюватиме $S_{max} = 0,02$ мм. Підставимо значення в формулу (2.28):

$$\Delta_{P2} = \frac{0,5 \cdot 0,02 \cdot (40 + 40)}{40} = 0,02 \text{ мм.}$$

Похибка від непропорційності між лінійним переміщенням вимірювального стрижня та кутовим переміщенням важеля визначається за формулою (2.30):

$$\Delta_{P3} = \frac{l_2 \cdot \alpha^3}{3}, \quad (2.30)$$

де α – кут повороту важеля при вимірюванні, рад.

Кут повороту важеля знаходимо за залежністю:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{\alpha_2}{l_2} = \frac{0,12}{40} = 0,003, \\ \alpha &= \operatorname{arctg} 0,003 = 0,17^\circ = \frac{0,12}{40} = 0,003 \text{ рад.} \end{aligned}$$

Підставимо значення у формулу 2.30:

$$\Delta_{P3} = \frac{40 \cdot 0,003^3}{3} = 0,00000036 \text{ мм.}$$

Похибка від суміщення точки контакту сферичного оскіпа при повороті плоского важеля визначається за формулою (2.31):

$$\Delta_{P4} = \frac{l_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + r \cdot (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1)}{l_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha - r \cdot (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1)} - 1, \quad (2.31)$$

де r – радіус сферичного оскіпа, мм. Приймаю $r = 2$ мм.

Підставимо відомі значення у формулу (2.31):

$$\Delta_{P4} = \frac{40 \cdot 0,003 + 2 \cdot (\sqrt{1 + 0,003^2} - 1)}{40 \cdot 0,003 - 2 \cdot (\sqrt{1 + 0,003^2} - 1)} - 1 = 0,00008 \text{ мм.}$$

Похибка $\Delta_{p5} = 0$, оскільки пряма передача не використовується. Конструкція важеля для розрахунків представлена на рис. 2.7.

Підставимо усі відомі значення у формулу (2.27). Матимемо:

$$\Delta_p = \sqrt{0,00036^2 + 0,02^2 + 0,00000036^2 + 0,00008^2 + 0} = 0,02 \text{ мм.}$$

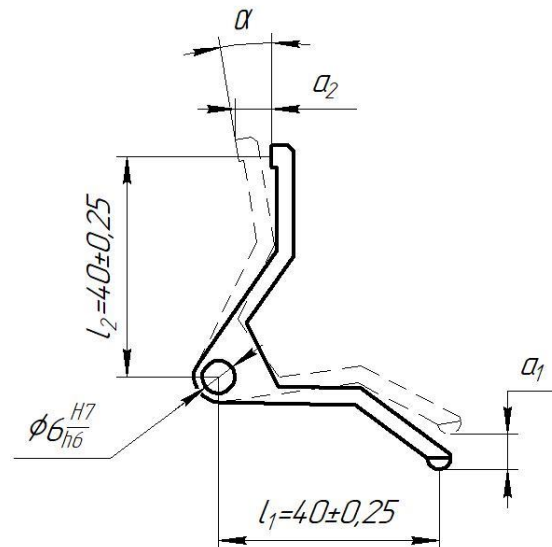


Рисунок 2.7 – Конструкція важеля

Похибкою від температурних деформацій Δl_t розраховується в залежності від температурного режиму θ_t за формулою (2.32):

$$\theta_t = \sqrt{\left(\Delta t_1 \cdot \frac{(\alpha_{\text{п}} - \alpha_{\text{д}})_{\text{max}}}{11,6 \cdot 10^{-6}} \right)^2 + \left(\Delta t_2 \cdot \frac{\alpha_{\text{max}}}{11,6 \cdot 10^{-6}} \right)^2}, \quad (2.32)$$

де Δt_1 – відхилення температури середовища від 20 °С: задана температура середовища, де проводилися вимірювання, дорівнює 20 °С: $\Delta t_1 = 0$ °С;
 Δt_2 – короточасні коливання температури середовища в процесі вимірювання. Задані короточасні коливання температури 0,5 °С;
 $(\alpha_{\text{п}} - \alpha_{\text{д}})_{\text{max}}$ – максимально можлива різниця значень коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів пристрою та деталі;

$\alpha_{\max}$ – максимальне значення коефіцієнта лінійного розширення матеріалу пристрою чи деталі, яка вимірюється.

Коефіцієнт лінійного розширення α_d АД0 дорівнює $24 \cdot 10^{-6}$, град $^{-1}$. Коефіцієнт лінійного розширення α_d індикаторного корпусу обираємо з діапазону $\alpha_{\Pi} = (9,4 \dots 14,5) \cdot 10^{-6}$, град $^{-1}$. Тоді матимемо:

$$\theta_t = \sqrt{\left(0 \cdot \frac{(9,4 - 24)_{\max} \cdot 10^{-6}}{11,6 \cdot 10^{-6}}\right)^2 + \left(0,5 \cdot \frac{24 \cdot 10^{-6}}{11,6 \cdot 10^{-6}}\right)^2} = 1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Визначимо Δl_t при відомому температурному режимі за формулою (2.33):

$$\Delta t_t = l \cdot \theta_t \cdot 11,6 \cdot 10^{-6}, \quad (2.33)$$

де l – відстань від бази до контакту з важелем, мм.

$$\Delta t_t = 28 \cdot 1 \cdot 11,6 \cdot 10^{-6} = 0,0003 \text{ мм}.$$

Підставивши усі відомі значення до формули (2.25) отримаю:

$$\begin{aligned} \Delta_{\Sigma} &= \sqrt{0,01^2 + 0 + 0 + 0,005^2 + 0,03^2 + 0,005^2 + 0,02^2 + 0,0003^2} = \\ &= 0,04 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Сумарна похибка вимірювання $\Delta_{\Sigma} \leq [\varepsilon_{\text{изм}}] = 0,12 \text{ мм}$. Отже точність вимірювання перпендикулярності з похибкою 0,12 мм на допуск в 700 мкм буде забезпечена.

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ СЛЮСАРНОЇ ОПЕРАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕХАНІЧНИХ ЩІТОК

Автоматизація – це концентрація технологічного процесу виробництва деталі в одному (бажано) місці. Такий підхід зумовлений економічними показниками, що складаються з: часу на обробку, транспортуванням деталі між обладнаннями та заробітною платнею. Завдяки поєднанню операцій в одному місці (на одному верстаті) з'являється можливість для висококваліфікованого робітника отримувати більшу заробітну платню за рахунок зменшення кількості робітників при об'єднанні двох операцій та, як наслідок, збільшення обсягу роботи (відповідальності).

За допомогою МВД фланця та розрахункам у пункті 6 дипломного проекту було прийнято рішення про об'єднання операцій 015 та 020 (Фрезерна з ЧПК + Слюсарна) в одну, що проходить на верстаті DMC 635v ecoline. Також можливе об'єднання операцій 035 та 040 (Свердлильно-фрезерна з ЧПК + Слюсарна).

Слюсарні операції призначаються для зачистки гострих кромek після фрезерних та свердлильних операцій. Пропонується для деталі: не транспортувати її до іншого місця, а лише додати до інструментальної стрічки на верстаті інструмент. Пропонується варіант із застосуванням металевої щітки, а саме кінцева щітка з металевою проволокою.

Кінцеві щітки найрізноманітнішої конструкції застосовуються для обробки внутрішньої та зовнішньої поверхонь за допомогою ручного механізованого обладнання чи верстата. Діапазон швидкостей складає від 8000...12000 об/хв, забезпечуючи ефективне видалення задирок, зачистку зварювальних швів, заокруглення кромek та кутів, очистку, доводку та полірування різноманітної поверхні в важкодоступних місцях деталей та заготовок. В даному випадку розглядається застосування кінцевої щітки (рис. 3.1) з розташуванням ворсу як на торці оправки, так і по боковим поверхням.

Зовнішній діаметр щітки для забезпечення належного натягу повинен обиратися дещо більше діаметру порожнини, що оброблюється [16].

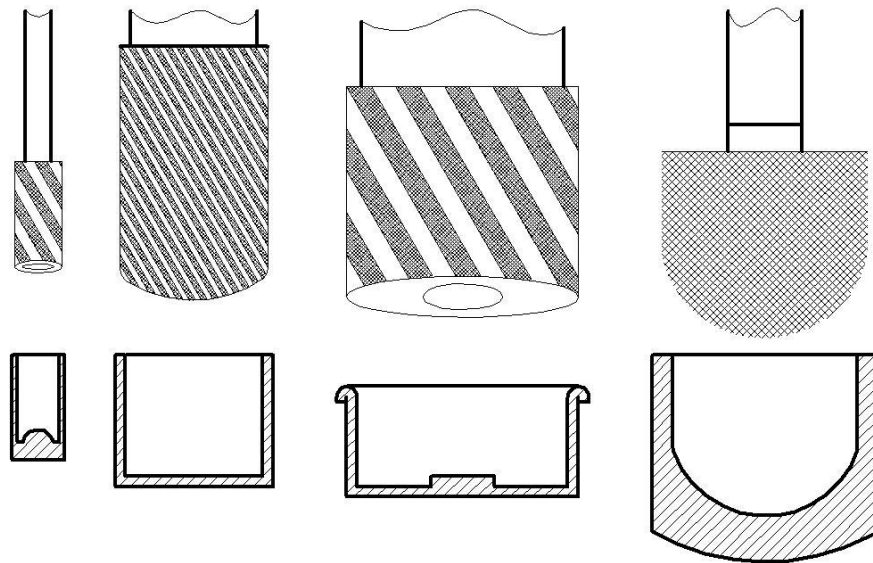


Рисунок 3.1 – Різновиди кінцевої щітки для зачистки одночасно зовнішньої та внутрішньої поверхонь

Для ефективного застосування щітки при видаленні задирок та заокругленні гострих кромek деталі з алюмінію використовується ворс з латуні або нержавіючої сталі діаметром проволки до 3,5 мм. Колова швидкість при цьому складатиме 50...60 м/с. Високі швидкості надають щіткам більшу жорсткість та забезпечують більшу продуктивність.

Для виготовлення ворсової частини проволка за формою поділяється на пряму, завиту та гофровану. Остання застосовується найчастіше з-за того, що ворс розподіляється більш рівномірно, аніж у прямій; має хорошу взаємну опору ворсинок-проволок, що призводить до збільшення жорсткості робочої частини щітки [16].

4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

Розрахунок деталі на міцність проводитиму за допомогою програми SIEMENS NX 12. Модель хвилеводу представлена на рис. 4.1.

Умови розрахунку: зварену конструкцію двох фланців та хвилеводної труби піддаватиму навантаженню наступним чином: зусилля (тиск) буду спрямовувати на бічну сторону більшого фланцю, закріплення відбуватиметься за бічну сторону протилежного меншого фланцю (рис. 4.2).

Також перевірю поведінку форми деталі під час різних видів прикладання зусиль та визначу оптимальне $\sigma_{\text{опт}}$ і критичне $\sigma_{\text{крит}}$ значення тиску.

Матеріал деталі: алюміній технічний АД0; $[\sigma_{\text{max}}] = 150$ МПа.

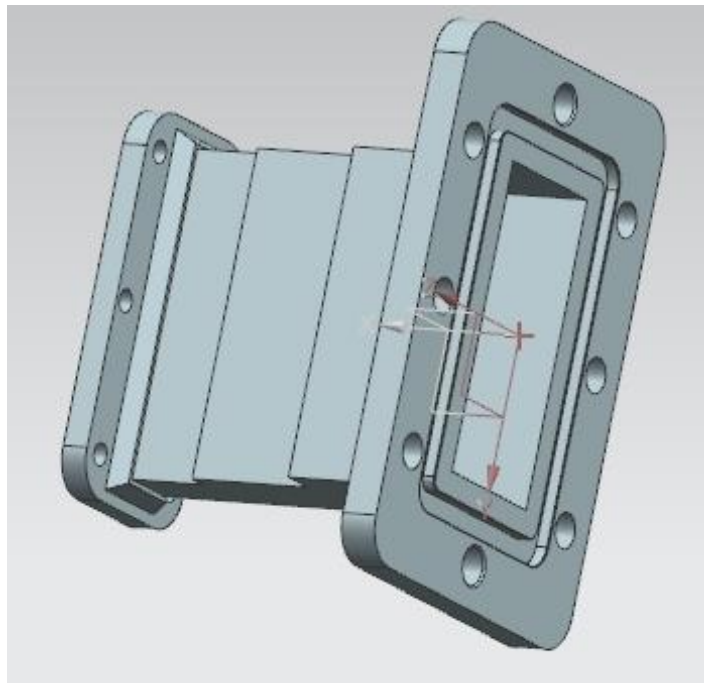


Рисунок 4.1 – Зварена конструкція (фланець-труба-фланець)

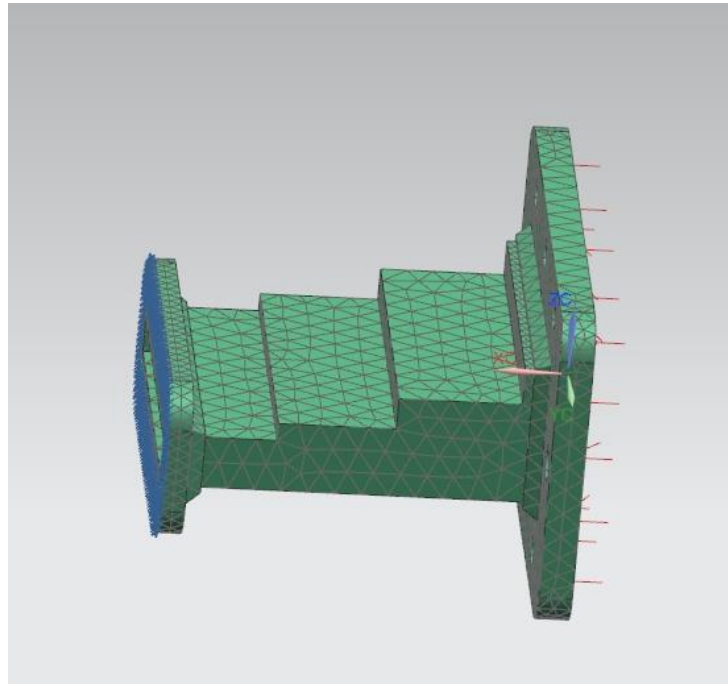


Рисунок 4.2 – Візуалізація точок прикладання зусиль (червоні стрілки: напрямки прикладання тиску) та поверхні закріплення (площина малого фланця)

Запас міцності за напруженнями має значення $n_\sigma = 2 \dots 5$. Обираю $n_\sigma = 3$ та розрахую граничну величину напружень від $[\sigma_B]$ деталі за формулою (4.1):

$$\sigma_{\text{гр}} = \frac{[\sigma_{\text{max}}]}{n_\sigma}, \text{ МПа}, \quad (4.1)$$

$$\sigma_{\text{гр}} = \frac{150}{3} = 50 \text{ МПа}.$$

Перевірю зміну форми деталі під дією навантаження в 0,1, 0,5 та 1 МПа. На рисунках 4.3-4.5 представлені вузлові навантаження для 0,1, 0,5 та 1 МПа відповідно.

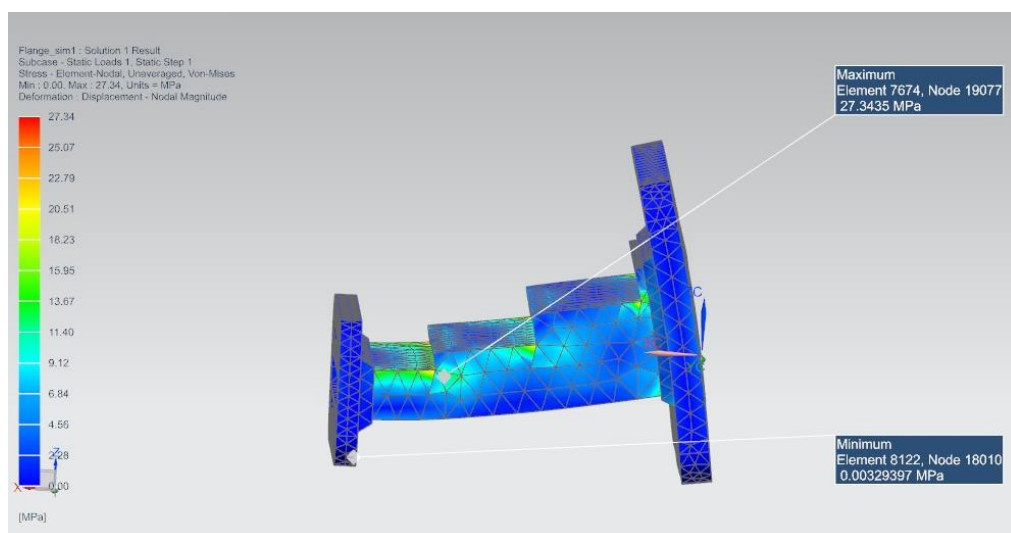


Рисунок 4.3 – Розподіл напружень за вузлами для 0,1 МПа

Під дією тиску в 0,1 МПа значення $\sigma_{\max} = 27,34$ МПа.

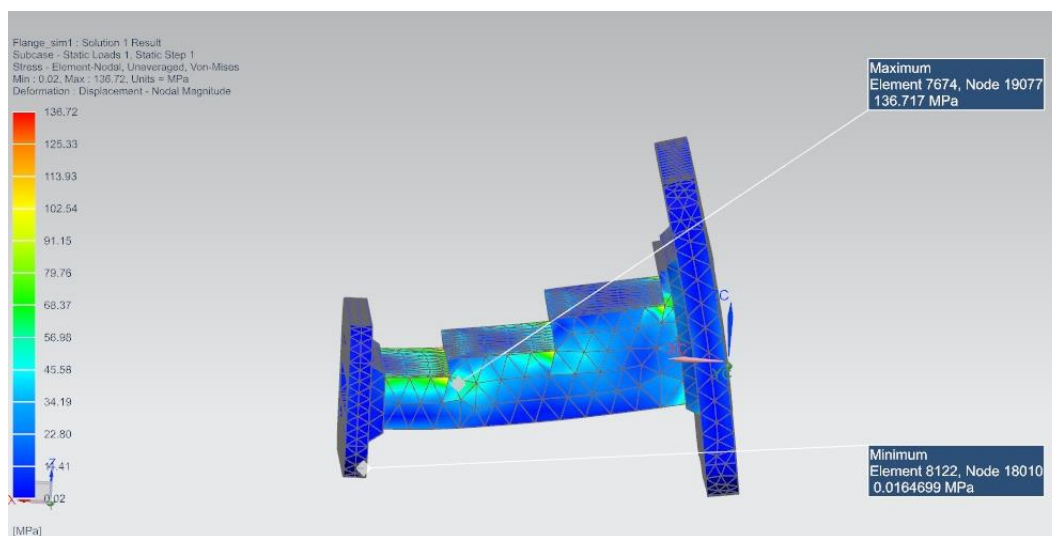


Рисунок 4.4 – Розподіл напружень за вузлами для 0,5 МПа

Під дією тиску в 0,5 МПа значення $\sigma_{\max} = 136,72$ МПа.

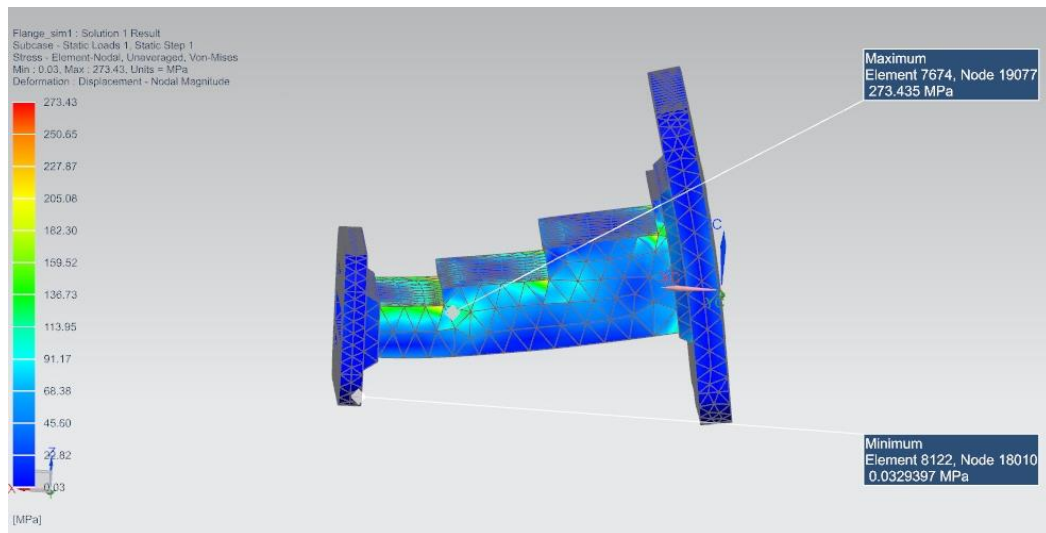


Рисунок 4.5 – Розподіл напружень за вузлами для 1 МПа

Під дією тиску в 1 МПа значення $\sigma_{\max} = 273,43$ МПа, що більше за значення $[\sigma_{\max}] = 150$ МПа матеріалу деталі.

Побудую графік та знайду максимальне (граничне) значення σ_0 , МПа для даної деталі, при якому деталь ще може працювати без ймовірності руйнування.

Апроксимовано за допомогою графіку (рис. 4.6) знаходжу граничне значення $\sigma_{\text{Огран}}$, яке не можна перевищувати при прикладанні зусилля на деталь: $\sigma_{\text{Огран}} = 0,55$ МПа.

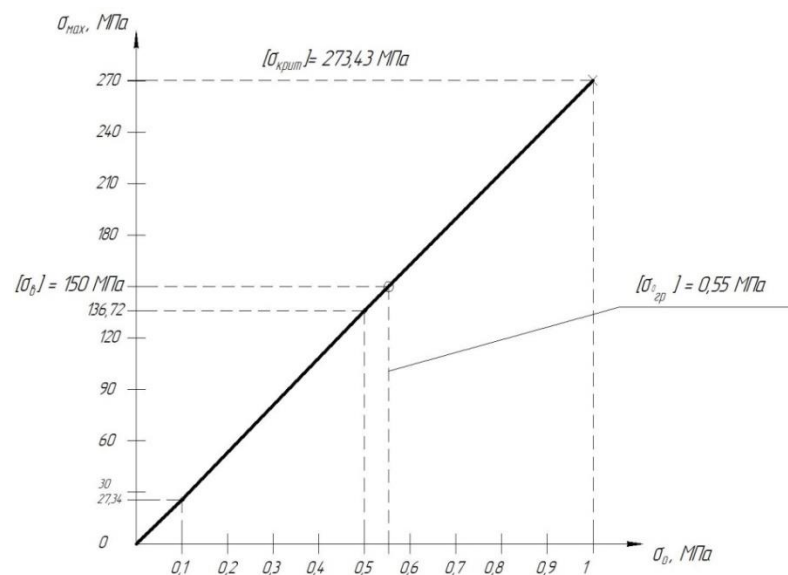


Рисунок 4.6 – Графік залежності напружень від навантаження

4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції. Оптимізація геометрії деталі

За допомогою програми SIEMENS NX були визначені найбільш навантаженні зони конструкцію, тому задля мінімізації вірогідності появи дефекту форми та розмірів пропонується в цих місцях зробити заокруглення радіусами R10 мм та R5 мм (радіуси показані на рисунку 4.7)

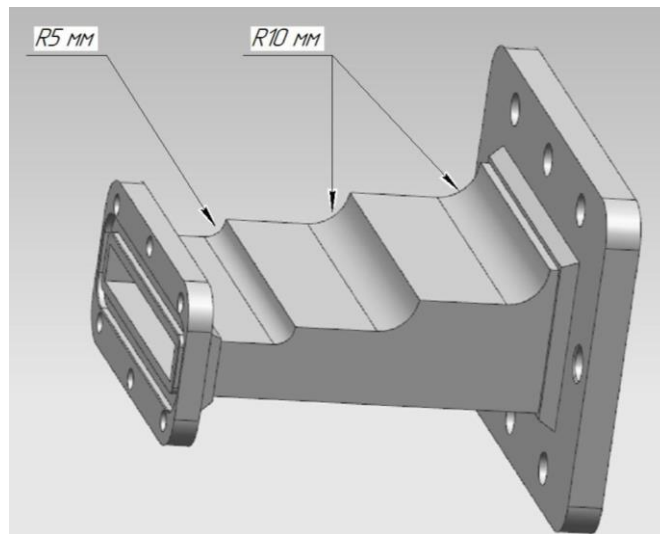


Рисунок 4.7 – Нова модель з радіусами заокруглення

Для перевірки прикладаю ті самі навантаження, що були описані в пункті 4.1 (рисунки 4.8-4.10).

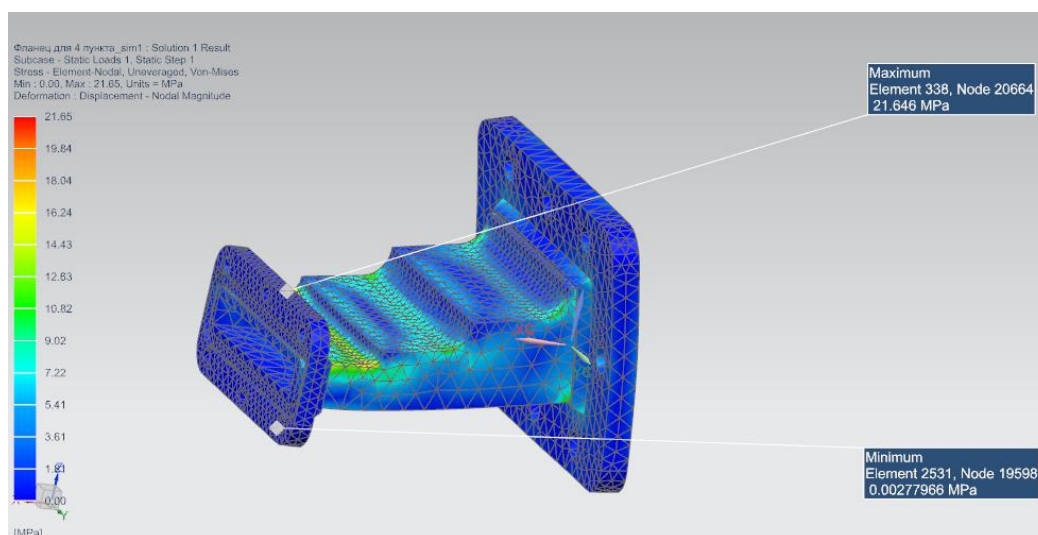


Рисунок 4.8 – Нова модель деталі при навантаженні 0,1 МПа

Під дією тиску в 0,1 МПа значення $\sigma_{\max} = 21,65$ МПа.

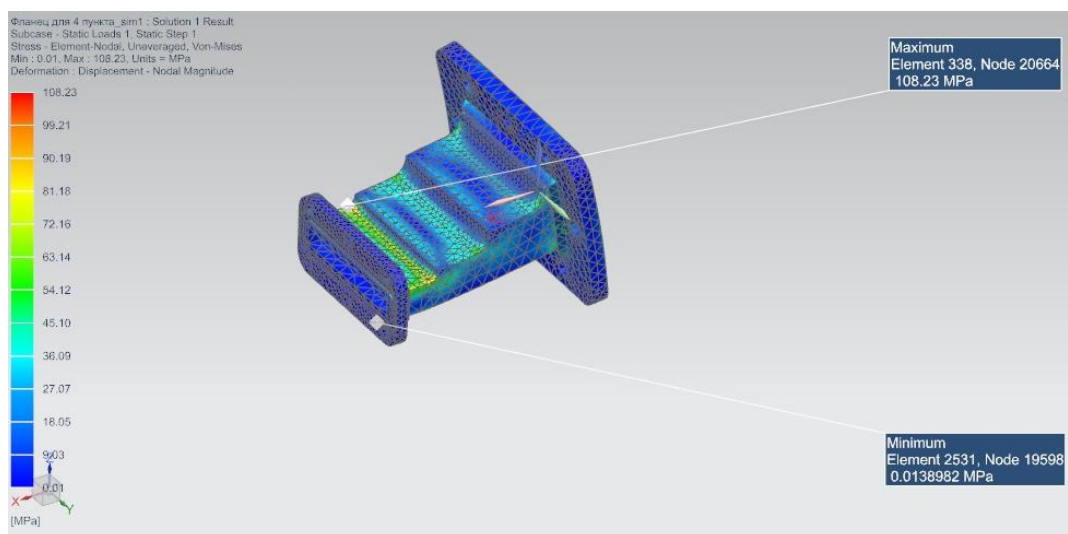


Рисунок 4.9 – Нова модель деталі при навантаженні 0,5 МПа

Під дією тиску в 0,5 МПа значення $\sigma_{\max} = 108,23$ МПа.

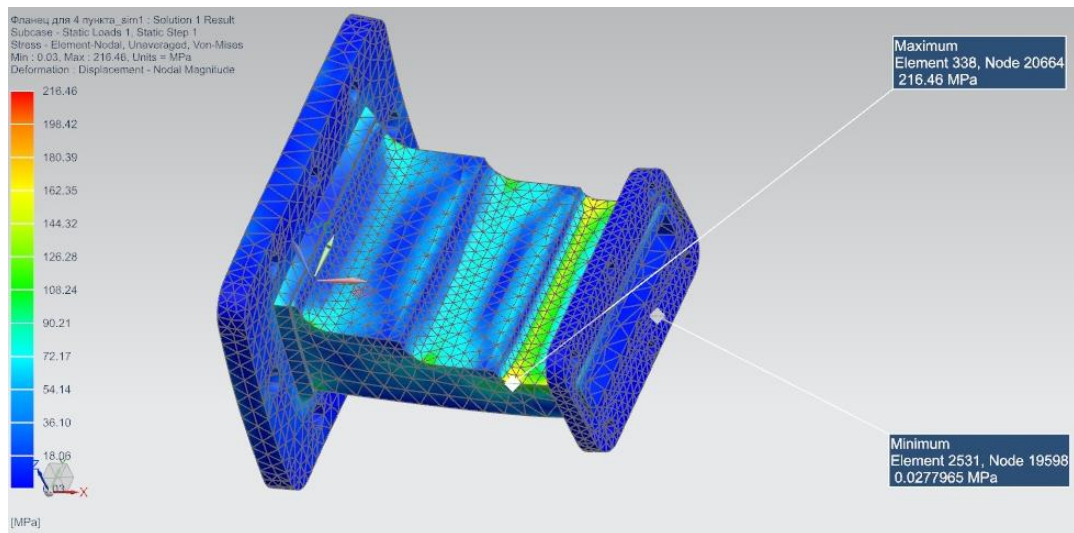


Рисунок 4.10 – Нова модель деталі при навантаженні 1 МПа

Під дією тиску в 1 МПа значення $\sigma_{\max} = 216,46$ МПа. Це більше за значення $[\sigma_{\max}] = 150$ МПа матеріалу деталі.

Перевірю поведінку моделі при прикладанні навантаження, яке було критичне для моделі без заокруглення (рисунки 4.11–4.13), тобто $\sigma_0 = 0,55$ МПа – максимальне (граничне) значення, при якому деталь ще може функціонувати без зміни форми.

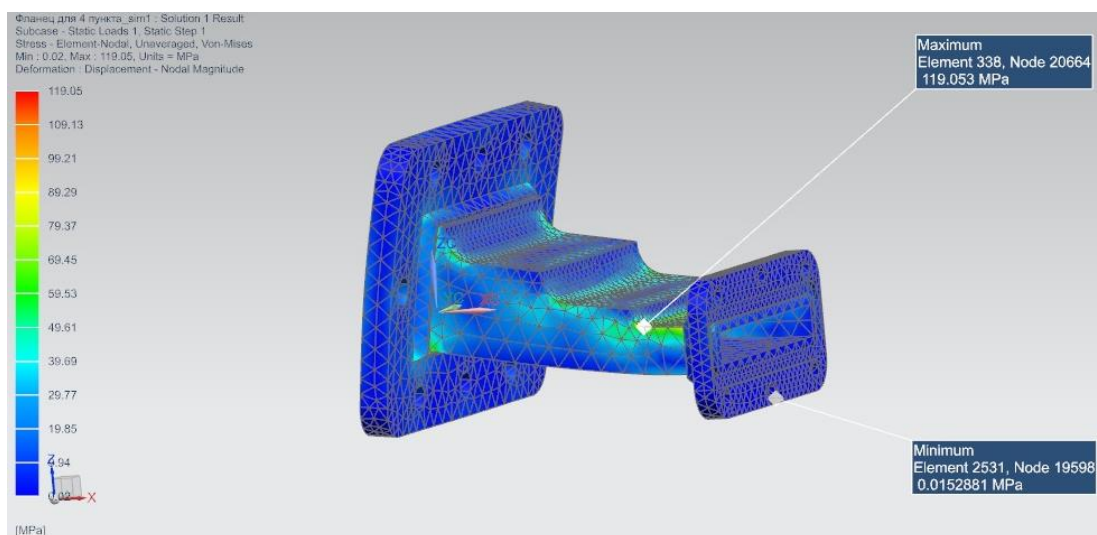


Рисунок 4.11 – Нова модель деталі при навантаженні 0,55 МПа

Під дією тиску в 0,55 МПа значення $\sigma_{\max} = 119,05$ МПа. Це означає, що запропонована нова модель деталі має більший діапазон витриманого

навантаження, аніж модель, що не має заокруглення. Оскільки прикладений тиск в 1МПа занадто великий для нової моделі, перевірю поведінку деталі прикладши навантаження 0,6 та 0,8 МПа.

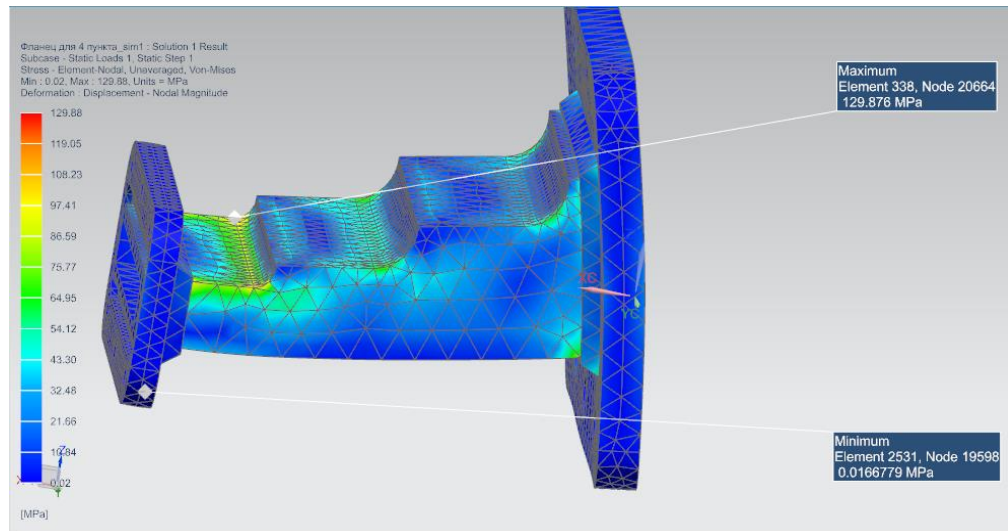


Рисунок 4.12 – Нова модель деталі при навантаженні 0,6 МПа

Під дією тиску в 0,6 МПа значення $\sigma_{\max} = 129,88$ МПа.

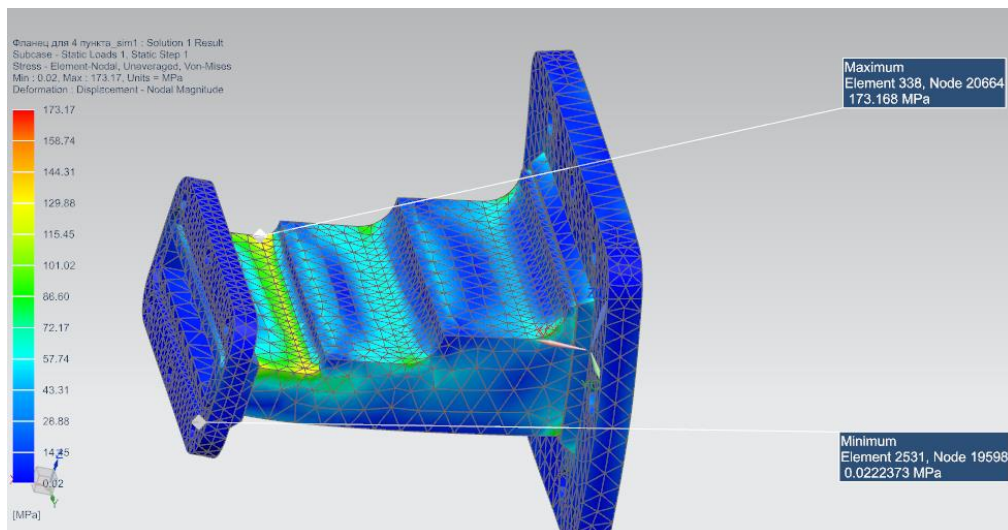


Рисунок 4.13 – Нова модель деталі при навантаженні 0,8 МПа

Під дією тиску в 0,8 МПа значення $\sigma_{\max} = 173,17$ МПа.

Аналогічно з попереднім дослідом в п.4.1 побудую графік та знайду максимальне (граничне) значення σ_0 , МПа для деталі зі зміненою формою.

Апроксимовано за допомогою графіку (рис. 4.14) знаходжу граничне значення $\sigma_{\text{Огран}}$, яке не можна перевищувати при прикладанні зусилля на деталь: $\sigma_{\text{Огран}} = 0,69 \text{ МПа}$.

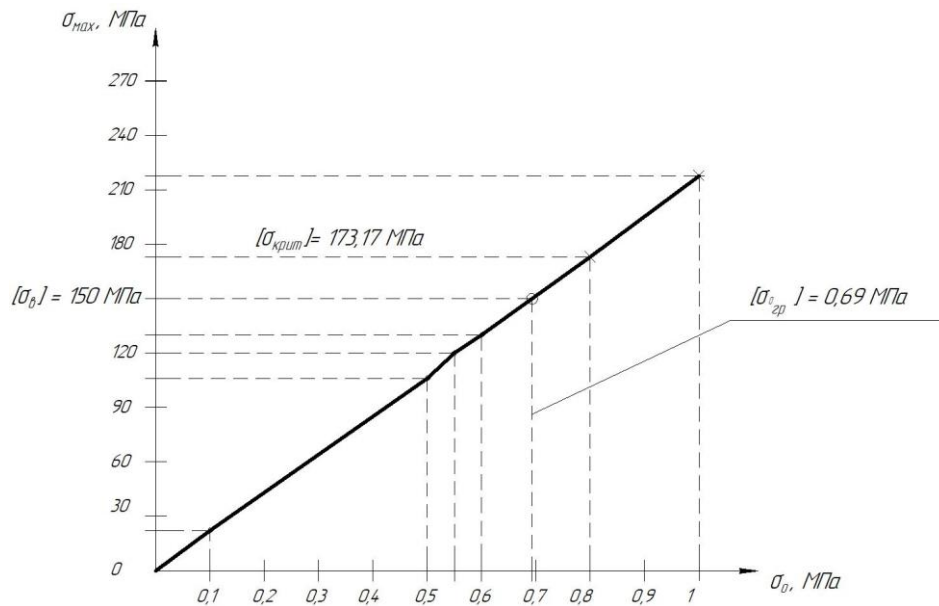


Рисунок 4.14 – Графік залежності напружень від навантаження

Графік показує, що нова модель з заокругленнями дозволяє витримувати навантаження до значення тиску в 0,69 МПа, що більше за значення деталі без заокруглення на 0,14 МПа (25%).

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ТЕМА: «ВДОСКОНАЛЕННЯ ФІНІШНОГО ЕТАПУ ОБРОБКИ ФЛАНЦІВ ПРЯМОКУТНОГО ХВИЛЕВОДУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕХАНІЧНИХ ЩІТОК»

5.1 Аналіз літературних джерел

Ключова роль хвилевода, у дуже узагальненому вигляді – це передача інформації у вигляді електромагнітної енергії (хвиль НВЧ) від передавача до антени та від антени до приймальної системи. Необхідна і достатня умова для передачі її без втрат – це забезпечення необхідної шорсткості поверхні на шляху всередині каналу та ззовні при з'єднанні хвилеводу з іншими вихідними пристроями (каналами).

В дипломному проекті розглядається хвилевод, що складається з двох фланців та проміжного мосту, що їх з'єднує. Поєднання частин відбувається за допомогою аргонно-дугового зварювання (АДЗ) (місця зварювання – див. креслення). Для з'єднання цієї конструкції з іншими вихідними пристроями на фланцях додатково розташовані канавки під ущільнювачі для щільного прилягання поверхонь під час з'єднання. Необхідно дотримуватися точного контакту притискання. Це мінімізує появу затухання хвиль при переході її в місцях контакту внаслідок високого показника шорсткості та її геометрії. Коефіцієнт затухання хвилеводів для даного матеріалу і робочої частоти змінюється приблизно значенню, яке обернено пропорційне значенню периметру або площі поперечного перерізу. Таким чином, для малих втрат хвилевод повинен бути значних розмірів.

Більш того, втрати при наявності стоячої хвилі збільшується в $2 \frac{(1+S^2)}{(1+S)^2}$ разів (де S – площа перерізу хвилевода), якщо потужність постійна на виході з джерела, та в $\frac{1+S^2}{2S}$ разів – якщо потужність постійна при навантаженні. Втрати на лінії зростають при наявності твердих діелектриків та від плівок-напівпровідників на металевих стінках.

Невеличка глибина поверхневого шару призводить до того, що омичні (активні) втрати на лінії надвисоких частот залежать від найменших недосконалостей поверхні. Якщо нерівності поверхні більші за глибину поверхневого шару, то струм НВЧ буде проходити більше шляху (рис. 5.1).

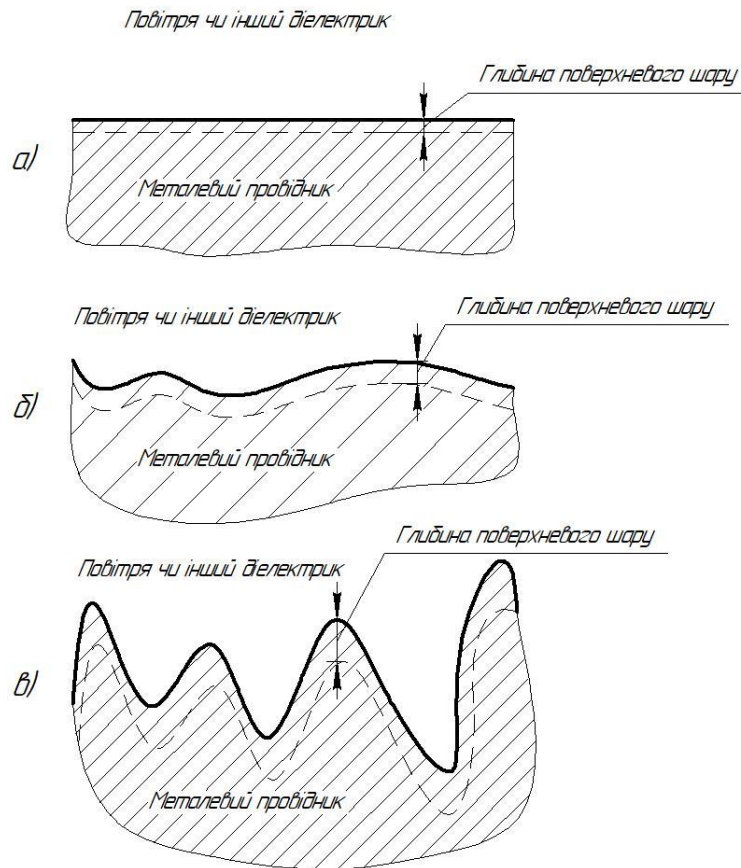


Рисунок 5.1 – Вплив шорсткості на довжину шляху струму:

а – шорсткість поверхні дорівнює нулю; б – шорсткість менша за глибину поверхневого шару; в – шорсткість більша за глибину поверхневого шару.

Доведено, що при значенні шорсткості поверхні, що дорівнює глибині поверхневого шару, коефіцієнт затухання збільшується в 1,6 разів; коли шорсткість поверхні в два рази більша за глибину поверхневого шару, то затухання збільшуються в 1,8 разів; для величини шорсткості поверхні, яка дорівнює половині глибини поверхневого шару, затухання збільшується в 1,2 рази. Виходячи з цього задовільною вважається обробка, при якій шорсткість

не перевищує 0,13 мкм для хвилевода, що вкрито сріблом, на частоті 100 ГГц та 1,3 мкм для алюмінієвого хвилевода на частоті 1,2 ГГц [11].

Про процес зварювання алюмінієвих хвилеводів та його особливості.

Внаслідок високої теплопровідності алюмінію (при кімнатній температурі теплопровідність $\lambda = 236$ Вт/(м·град)) рекомендовано попередній підігрів початкових ділянок швів до температури 120...150 °С чи супутній підігрів. При зварюванні металу більшої товщини цей процес сповільнює кристалізацію зварювальної ванни, що сприяє більш повному видаленню газів та зменшенню пористості [23].

Поява пористості пов'язана з підвищеною розчинністю газів в нагрітому металі та затримкою їх у ньому при охолодженні [24]. Ця властивість притаманна водню, джерелом якого є волога, що входить до складу кисневої плівки у вигляді гідратованих окислів. Перед початком зварювальних робіт необхідна ретельне хімічне очищення присадного матеріалу та механічна обробка з подальшим знежиренням зварювальних кромок.

Внаслідок низької температури плавлення ($t_{\text{плав}} = 660$ °С) виникає висока вірогідність пропалу зварювального матеріалу [25].

Алюміній має високий показник коефіцієнту лінійного розширення ($\alpha_T = 24 \cdot 10^{-6}$ 1/град) та низький модуль пружності ($E = 70$ кН/мм²). Внаслідок цього зварювальні шви схильні до короблення, тому при зварюванні необхідно надійно закріплювати заготовки [25].

При зварюванні алюмінію варто звернути увагу на можливість розтріскування отворів кратеру на кінці шва. Це пов'язано з швидким термічним розширенням алюмінію в ході зварювання і звуженням при охолодженні [26]. У разі увігнутих швів ймовірність розтріскування зростає, оскільки поверхня кратеру під час охолодження звужується та тріскається. Необхідно надати шву опуклу форму для компенсації стискаючих сил.

Основною проблемою при зварюванні алюмінію є його здатність швидко покриватися на повітрі оксидною плівкою (Al_2O_3). Вона має температуру плавлення 2050 °С, в той час як сам алюміній плавиться при 660

°C (в залежності від типу сплаву). Маючи більшу, ніж алюміній, щільність оксидне покриття проникає всередину шву через розплавлену ванну у вигляді включень, що веде до зниження механічних властивостей шву (зменшення статичної і циклічної міцності з'єднання), навіть більшою мірою, ніж при наявності пор чи шлакових включень. Проте окисна плівка може зменшувати подальше окислення основного металу та слугує гарантією відсутності корозії в легких умовах експлуатації [25].

Найважливішою характеристикою оксидної плівки є її здатність адсорбувати вологу, особливо водяний пар, який може затримуватися окисним покриттям аж до температури плавлення металу. Волога в свою чергу є джерелом водню, який викликає пористість в зварних швах. Отже для здійснення зварювання необхідно вживати заходів щодо руйнування та видалення плівки з поверхні крайок і прилеглого основного металу.

5.2 Можливі шляхи вирішення

Однією з найбільш важких робіт є зачищення зварювальних швів від шлаку та бризку металу у прилеглій зоні до нього. Дуже часто цю операцію виконують слюсарними чи пневматичними зубилами, ручними металевими щітками, абразивними кругами тощо. Перелічені методи не можуть забезпечити добру якість очищення, що важливо у відповідальних з'єднаннях. При зачищенні зубилами, наприклад, поверхня шву дуже сильно забруднюється шлаком з невеличких впадин, що розташовані на границі шву та основного металу. Труднощі також виникають при очищенні виробу, що зварений з листів невеликої товщини (1...2 мм), та виробів форми «коробки»: складність зачистки у внутрішніх кутах [16, с.59].

При зачищенні оберտальна щітка забезпечує добру якість поверхні; охоплюючи усі нерівності шву, щітка видаляє шлак з важкодоступних впадин

та одночасно згладжує різкі переходи профілю, усуваю точки можливих концентраторів напруги [16, с.60].

Застосування обертальних щіток для зачищення зварювальних швів дає змогу підвищити продуктивність праці в середньому в 4...7 разів. Особливо успішно застосовуються для цієї операції тонкі дискові щітки з ворсом з проволочи, що завиті у джгути. Вони забезпечують велику ударну дію на поверхню, що обробляється [16, с.61].

Для повного видалення різного за родом забруднення (глибока іржа, окалина, бризки від зварювання) з забезпеченням заздалегідь обраної для кожного типу покриття однорідної шорсткості по всій поверхні металу застосовується дискові щітки типу іглофрези. Особливістю їх є велика щільність ворсової частини; коефіцієнт заповнення ворсинками простору на робочій поверхні іглофрези знаходиться в межах 50...85%. Зібрана за спеціальною технологією під високим тиском, ворсова частина іглофрези має високу жорсткість. При роботі ворсинки, внаслідок їх щільного прилягання одна до одної, відхиляються на невеличкий кут, і тим самим набувають своєрідні схожість з мікрорізцем. Стійкість та мала піддатливість кожної ворсинки в процесі роботи інструмента створює умови, при яких ворсинки ріжуть метал з мінімальним від'ємним переднім кутом різання; пружні деформації ворсу залишаються малими та виключають можливість зламу ворсинок, що характерно для звичайних металевих щіток.

Очистка іглофрезами є однією з найбільш економічних способів. Завдяки їй видаляється з поверхні металу не тільки верхній розпушений прошарок іржі, але й більш твердий, нерозпушений, очищення якого іншими методами є вкрай важким. Так, наприклад, при механічному очищенні плоскими щітками відбувається розгладження нерівностей поверхні металу та заповнення впадин продуктами корозії, що були зняті з сусідніх ділянок. При використанні плоскої щітки видаляється лише верхній шар іржі і не забезпечується необхідна чистота поверхні, що впливає на можливість використання протикорозійних властивостей покриття, що наноситься на

метал. Неповне видалення гідрату окисі заліза ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) призводить до того, що в деяких випадках корозійне руйнування відбувається під покриттям [16, с.61].

Також для отримання якісної поверхні можна скористатися ерозійним способом очищення – обдування поверхні деталі піском. Ефективність очищення характеризується створенням спіралеподібного потоку (направленим під визначеним кутом до поверхні, що обробляється) повітря (чи рідини) з абразивним наповнювачем, що дозволяє також обробляти і внутрішні поверхні [17, с.9]. Однак цей спосіб вельми енерговитратний, для його застосування необхідна велика кількість піску та стислого повітря. До того ж він має поганий вплив на організм людини (під негативним впливом здебільшого органи зору та нюху, шкіра, дихальні шляхи). При обдуванні мокрим піском поверхня швидко іржавіє і тому потребує штучного висушування [18].

При фінішному обробленні хвильоводів міліметрового діапазону часто застосовуються спеціальні притиральні верстати. В роботі [19] для полірування каналу хвильоводу використовують еластичний поліуретановий притир з нанесеною на поверхню алмазною пастою. Перевага даного інструменту полягає в тому, що абразивні зерна пружно переміщуючись вглиб основи, не утворюють глибоких рисок на поверхні. Багаторазове поздовжнє переміщення притиру всередині профілю здійснювалось рідким робочим середовищем під тиском в обидві сторони хвильоводу, за рахунок чого досягалась необхідна шорсткість. Так само для полірування каналу використовують повстяні або фетрові полірувальники [25], що представляють собою вкладиші, увібрані в себе абразивними пастами, пересування яких здійснюється тиском повітря. Недоліками даних методів є необхідність запобігання деформацій стінок хвильоводу під час руху інструмента під тиском, непродуктивність оброблення, шаржування поверхні абразивними зернами. Після полірування порожнини хвильоводів повністю по всьому об'єму покриваються абразивної масою, що вимагає додаткового очищення [26].

Електрохімічне полірування хвильоводів передбачає здійснення робіт методом паралельного хімічного і електричного впливів. Повністю замінити механічне полірування даний метод не може, тому що не здатний видалити глибокі подряпини, а тільки згладжує їх мікропрофіль. При електрополіруванні можуть розкриватися пори і тріщини в місцях зварювання, в які просочується електроліт, а згодом випаровуючись, руйнує поверхню навколо них [18].

Одним з ефективних методів фінішного оброблення каналів хвильоводів є гідроабразивне прокачування [27, 28], яке являє собою процес ерозії потоком абразивних часток. Гідроабразивна суспензія прокачується через виріб в обох напрямках, створюючи спрямовану шорсткість, яка залежить від розміру і концентрації абразивних зерен. До недоліку даного методу оброблення можна віднести нерегульовану ерозію при великій концентрації абразиву і високій швидкості потоку; перетин оброблюваного каналу регламентується потужністю гідросистеми обладнання [18].

В більшості випадків, фінішне оброблення прямокутного каналу хвильоводів виконується вручну або засобами малої механізації, в якості інструменту використовують наждачний папір, шарошки, напилки. При поліруванні деталей встановлюють в лещатах і вручну провертають після обробки кожного боку. Для досягнення необхідної шорсткості використовують по черзі наждачний папір різної зернистості. Даний вид оброблення має високу трудомісткість та не забезпечує необхідну шорсткість в глибині каналу. Також використовуваний інструмент має низьку стійкість і потребує частої заміни. За результатами досліджень [29] з широкого переліку абразивних інструментів, одним з найбільш ефективних для фінішної обробки прямокутних кутових хвильоводів S-діапазону є полімерно-абразивні щітки (далі ПАЩ) [18].

ПАЩ застосовуються для автоматизації широкого спектра фінішної обробки деталей, замінюють застарілі, менш продуктивні, неекологічні методи. Наприклад, при видаленні задирок на деталях порошкової металургії

[30] та газотурбінних двигунів [31], при механічному матуванні скла замість піскоструминної або хімічної обробки [32, 33]. Також ПАЩ використовують для оптимізації технологічного процесу токарного оброблення зовнішньої і внутрішньої гвинтової поверхні [34]. У роботах [35, 36] запропоновано шліфування напрямних замінити фрезеруванням на верстаті з ЧПК з подальшим поліруванням ПАЩ на цьому ж верстаті без зняття деталі. У статті [37] описується використання ПАЩ для обробки симетричних і асиметричних крайок різальних інструментів. Застосування ПАЩ при автоматизованих фінішних операціях [38] дозволяє істотно збільшити продуктивність оброблення, забезпечивши її високу якість і стабільність, незалежно від майстерності і рівня кваліфікації робітника, зменшити час виготовлення і собівартість продукції [39]. Дослідження полірування каналу хвилеводів йоржиковою ПАЩ [40, 41] показали хороші результати щодо електропараметрів.

Для автоматизації фінішної обробки хвилеводів (рис. 5.2), що мають прямолінійну форму або один простий прямокутний згин, було запропоновано виконувати її на горизонтально-фрезерному верстаті з ЧПК (рис. 5.3). Для обробки хвилеводів послідовно застосовували два типи ПАЩ фірми «Osborn» [42]: йоржикову та концеву.



Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд досліджуваних хвилеводів

Оброблення передбачало полірування каналу в місцях зварних швів та фланцю, видалення задирок безпосередньо після механічної обробки на тому ж верстаті, на якому виконувалось фрезерування фланців хвилеводів. Для

цього було запропоновано встановлення деталі в спеціальне пристосування (рис. 5.3) для фрезерування. Центрування деталі, за допомогою тимчасового установа, здійснювали по каналу, який попередньо дорнували на глибину 40...50 мм [18].



Рисунок 5.3 – Обробки щітковими інструментами хвилеводу на верстаті з ЧПК

Принцип роботи полягає в наступному: установ базували в корпусі за допомогою штифтів та фіксували затискачами. Деталь притискали до упорів і закріплювали по фланцю затискачем з двох боків. Установ знімали, і далі деталь оброблювали за програмою. Після оброблення першого фланцю здійснювали переустановлення деталі для оброблення наступного фланцю [18].

Автоматизоване оброблення на верстаті з ЧПК дозволило виключити проміжні слюсарні операції, зменшити час виготовлення та збільшити якість та точність оброблення виробу. Результатом п'яти проходів кожної ПАЩ на раціональних режимах (швидкість: $V = 20$ м/с; натяг: $i = 1$ мм; подача: $S = 1$

м/хв) стало повне видалення дефектів поверхні після попередніх операцій, шорсткість становила $Ra\ 0,65\ldots0,83\ \mu\text{м}$.

Для механізації фінішного оброблення хвилеводів складної конструкції (більш одного згину) запропоновано замінити операцію послідовного ручного полірування за допомогою засобів малої механізації на полірування ПАЩ на спеціальній установці (рис.5.4) [18].



Рисунок 5.4 – Обробки щітковим інструментом хвилеводу на спеціальній установці

Принцип роботи полягав в наступному: рух інструмента виконувався вручну, а траєкторія руху забезпечувалась копіром. Кінематика руху установки схожа з роботою гравіювального копіювально-фрезерного верстату. Для обробки хвилеводів використовували той самий інструмент, що і в попередньому випадку зі швидкістю оброблення $V = 18\ldots22\ \text{м/с}$ [18].

Механізована установка для фінішного оброблення хвилеводів являла собою конструкцію, яка монтувалася на верстаку. Оброблювана деталь встановлювалася на санчата та фіксувалася гвинтовим затискачем. Санчата мали можливість поздовжнього переміщення по напрямних, яке обмежувалось

упорами. Дана установка є універсальною і може використовуватись для оброблення хвилеводів іншої форми перерізу шляхом встановлення відповідного копіру [18].

Результатом обробки запропонованими методами стало повне усунення всіх дефектів поверхні каналу близькошовних зон. Після чого на дослідних зразках була виміряна шорсткість оброблених поверхонь профілометром моделі 171621 (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Середнє значення шорсткості при обробленні дослідних хвилеводів

Тип інструменту (зернистість)	Шорсткість Ra, мкм	
	Повздожня	Поперечна
Наждачний папір (F120)	2,11	1,92
Полімерно-абразивна йоржикова щітка (F120)	1,28	1,03
Полімерно-абразивна йоржикова щітка (F180)	1,02	0,76

Також був проведений хронометраж часу фінішної обробки зразків хвилеводів. На основі отриманої трудомісткості була розрахована собівартість фінішного оброблення (табл. 5.2) наждачним папером (варіант 1), ПАЩ на верстаті з ЧПК (варіант 2) та на механізованій установці (варіант 3).

Таблиця 5.2 – Розрахунок економічної ефективності фінішного оброблення дослідних хвилеводів

Параметр	Варіант оброблення хвилеводів		
	1	2	3
Основний час обробки, хв	28	5,14	12,5
Допоміжний час, хв	27,2	10,2	7,4
Додатковий час, хв	5,52	1,53	1,99
Штучний час, хв	60,72	16,87	21,89
Витрати на електроенергію, грн	0,59	3,17	0,53
Витрати на інструмент, грн	11,36	0,36	0,37
Річна програма випуску хвилеводів, шт/рік	640	640	640
Амортизаційні відрахування, грн	16,10	9,38	31,25
Заробітна плата, грн	54,08	11,27	14,62
Податкові нарахування, грн	21,36	4,45	5,78
Премія, грн	10,82	2,25	2,92
Собівартість, грн	114,3	30,89	55,47
Економічний ефект від впровадження, раз	-	3,7	2

В результаті впровадження фінішної обробки на верстаті з ЧПК та на механізованій установці за допомогою ПАЩ було повністю видалено ручне полірування хвилеводу з технологічного процесу виготовлення кутових хвилеводів, геометрія та шорсткість каналу значно покращились (табл. 5.1) [18].

Автоматизація процесу за допомогою верстату з ЧПК на трьох типах дослідних зразків хвилеводів дозволила скоротити більше, ніж у 5 разів тривалість і 3,7 рази собівартість фінішної обробки (табл. 2) в порівнянні з

обробкою наждачним папером. А впровадження спеціальної механізованої установки для фінішної обробки хвилеводів за допомогою ПАЩ скоротило в 2,2 рази час полірування та в 2 рази собівартість (табл. 5.2), людський вплив на точність і якість оброблення.

Грунтуючись на отриманих результатах, можна рекомендувати оброблення прямокутних хвилеводів S-діапазону ПАЩ обертальної дії, як альтернативний фінішний етап виготовлення хвилеводів РЛС [18].

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОПЕРАЦІЙ

В даному пункті розглядається доцільність об'єднання операцій 015 і 020 (Фрезерної з ЧПК і Слюсарної) в одну операцію.

Перш за все слід зауважити, що слюсарна операція необхідна для того, щоб зняти задирки на деталі після обробки її фрезою. Її виконання відбувається на окремому робочому місці слюсарем 4 розряду. За допомогою багатофункціонального верстаті з ЧПК з'являється можливість цю операцію виконувати не знімаючи деталь з пристосування на столі верстата та не транспортуючи. Отже розрахунок остаточного економічного ефекту проводитиму за формулою (6.1):

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_{1+2} - (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2), \text{ грн}, \quad (6.1)$$

де $\mathcal{E}_{1+2}$ – економічний ефект від поєднання на одному робочому місці (одному верстаті) одразу дві операції, грн;

$\mathcal{E}_1$ – економічний ефект від обробки на верстаті з ЧПК, грн;

$\mathcal{E}_2$ – економічний ефект від обробки на верстаку, грн.

Економічний ефект для $\mathcal{E}_{1+2}$, $\mathcal{E}_1$ та $\mathcal{E}_2$ розраховується за (6.2):

$$\mathcal{E}_i = C_i \cdot \Pi + E \cdot \mathcal{C}_i \cdot n_i, \text{ грн}, \quad (6.2)$$

де C_i – технологічна собівартість обробки однієї заготовки по різних варіантам операцій на верстаті (верстаку);

Π – річна програма виготовлення деталі;

E – нормативний коефіцієнт ефективності: $E = 0,15$;

$\mathcal{C}_i$ – ціна верстата (верстата);

n_i – число одиниць обладнання, що застосовується на верстаті (верстаку).

Технологічна собівартість C_i розраховується за формулою (6.3):

$$C_i = (З_{pi} + З_{ni} + ЭЛ_{ni} + П_i + I_i + A_i + O_i + P_i)t_{шт-к}, \text{ грн}, \quad (6.3)$$

де $З_{pi}$ – заробітна плата робітника, грн;

$З_{ni}$ – заробітна плата наладчика, грн;

$ЭЛ_{ni}$ – витрати на електроенергія, кВт·год;

$П_i$ – витрати на пристосування, коп;

I_i – витрати на інструмента, грн;

A_i – амортизація, грн;

O_i – витрати на обслуговування, грн;

P_i – витрати на ремонт обладнання, грн.

Заробітна плата $З_{pi}$ та $З_{ni}$ розраховується за формулою (6.4):

$$З_p = З_n = З_t \cdot K_n, \text{ грн}, \quad (6.4)$$

де $З_t$ – тарифна хвилинна заробітна плата робочого з урахуванням начислень у діючих на базовому підприємстві, грн:

K_n – коефіцієнт перевиконання норми: $K_n = 1, 2$.

Норма витрат по електроенергії $ЭЛ_{ni}$ розраховується за формулою (6.5):

$$ЭЛ_{ni} = \frac{\sum N \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot C_э}{60}, \text{ грн}, \quad (6.5)$$

де $\sum N$ – сумарна потужність електродвигунів верстата

(потужність ламп на верстаку), кВт·год;

K_1 та K_2 – коефіцієнти, що враховують використання електроенергії від двигунів (ламп) за потужністю та за часом;

$C_э$ – вартість 1 кВт·год електроенергії у діючих на даний час розцінках.

Норми витрат A_i , O_i та P_i розраховуються за формулами (6.6) – (6.8):

$$A_i = \frac{\alpha_1 \cdot 1,15 \cdot Ц_i}{F_d \cdot 60}, \text{ грн}, \quad (6.6)$$

$$O_i = \frac{\alpha_2 \cdot 1,15 \cdot Ц_i}{F_d \cdot 60}, \text{ грн}, \quad (6.7)$$

$$P_i = \frac{\alpha_3 \cdot 1,15 \cdot C_i}{F_d \cdot 60}, \text{ грн,} \quad (6.8)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – проценти відрахувань від балансної вартості обладнання, що дорівнює $B = 1,15C$, де C – ціна обладнання;

$$\alpha_1 = 15, \alpha_2 = 0,5, \alpha_3 = 4,5.$$

F_d – дійсний річний фонд роботи обладнання: $F_d = 4015$ год.

Дані для розрахунку економічного ефекту $\mathcal{E}_{1+2}$:

а) $\Pi_{1+2} = 1500$ одиниць деталей на рік;

б) $C_{1+2} = 1500000$ грн – ціна верстата;

в) $n_{1+2} = 3$ одиниці обладнання (пульт керування, верстат, шпиндель).

Дані для розрахунку заробітної плати робітника та налагоджувальника:

а) $З_{т1+2} = 1,048$ грн [15, табл.2.18, с.94];

б) $З_{н1+2} = 1,048$ грн [15, табл.2.18, с.94].

За формулою (6.4) розраховую заробітну платню робітника та налагоджувальника:

$$З_p = З_n = 1,048 \cdot 1,2 = 1,2576 \text{ грн.}$$

Дані для розрахунку норм витрат по електроенергії $\mathcal{E}_{\text{ні}}$:

а) $\Sigma N_{1+2} = 17$ кВт·год – потужність електродвигуна верстата;

б) $K_{1+2} = 0,7$ [15, табл.2.19, с.94];

в) $K_{2+2} = 0,7$ [15, табл.2.19, с.94];

г) $C_{\mathcal{E}1+2} = 1,68$ грн за 1 кВт.

Підставимо усі відомі значення до формули (6.5):

$$\mathcal{E}_{\text{ні}} = \frac{17 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,68}{60} = 0,233 \text{ грн.}$$

Дані для розрахунку витрат на пристосування Π_i :

а) $\Pi_{1+2} = 0,0036$ коп [15, табл.2.21, с.95].

Дані для розрахунку витрат на інструменти I_i :

а) $I_{1+2\ 1} = 0,176$ грн – використовується фреза [15, табл.2.20, с.94];

б) $I_{1+2\ 2} = 0,163$ грн – використовується шліфувальне коло (металева щітка) [15, табл.2.20, с.94].

Оскільки на операції, при поєднанні, буде задіяно фрезу та шліфувальний круг (металева щітка), то для знаходження середньої норми вартості на 1 хв. роботи скористаємося формулою (6.9):

$$CHB = \frac{\Sigma B}{\Sigma Ч}, \text{ хв}, \quad (6.9)$$

де ΣB – сумарна вартість інструментів $I_{1+2\ 1}$ та $I_{1+2\ 2}$, грн;

$\Sigma Ч$ – сумарний час роботи інструментів, хв: приймаю 80 хв.

$$CHB_{1+2} = \frac{0,176 + 0,163}{80} = 0,004 \text{ грн/хв.}$$

CHB_{1+2} в годину становить 0,24 грн/год. Показники норм витрат A_{1+2} , O_{1+2} та P_{1+2} розраховуються за формулами (6.6) – (6.8):

$$A_{1+2} = \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 1500000}{4015 \cdot 60} = 107,4 \text{ грн,}$$

$$O_{1+2} = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 1500000}{4015 \cdot 60} = 3,58 \text{ грн,}$$

$$P_{1+2} = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 1500000}{4015 \cdot 60} = 32,22 \text{ грн.}$$

Штучно-калькуляційний час $t_{шт-к}$ приймемо 80 хв. Підставимо усі відомі значення у формулу (6.3):

$$\begin{aligned} C_{1+2} &= \left(1,2576 + 1,2576 + 0,233 + 0,0036 + 0,254 + 107,4 + 3,58 + \right. \\ &\quad \left. + 32,22 \right) \cdot 80 = \\ &= 11696,464 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Підставимо усі відомі значення у формулу (6.2):

$$\mathcal{E}_{1+2} = 9503,377 \cdot 1500 + 0,15 \cdot 1500000 \cdot 3 = 14930065,5 \text{ грн.}$$

Аналогічно розраховується економічний ефект для $\mathcal{E}_1$. Усі показники і значення збігаються, окрім:

а) показник $I_{1+2\ 2} = 0,163$ грн не враховується, оскільки цей показник відображає поєднання операцій на одному робочому місці;

б) показник $t_{\text{шт-к}}$ приймаю рівним 65 хв.

Підставимо усі відомі значення у формулу (6.3):

$$\begin{aligned} C_1 &= \left(1,2576 + 1,2576 + 0,233 + 0,0036 + 0,176 + 107,4 + 3,58 + \right. \\ &\quad \left. + 32,22 \right) \cdot 65 = \\ &= 9498,307 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Підставимо усі відомі значення у формулу (6.2):

$$\mathcal{E}_1 = 9498,307 \cdot 1500 + 0,15 \cdot 1500000 \cdot 3 = 14922460,5 \text{ грн.}$$

Дані для розрахунку економічного ефекту $\mathcal{E}_2$:

а) $P_2 = 1500$ одиниць деталей на рік;

б) $C_2 = 25000$ грн – ціна верстака;

в) $n_2 = 5$ одиниць обладнання (лампа, затискачі, розетка, верстат-заточувальник, струбцина). Дані для розрахунку заробітної плати робітника та наладжувальника:

а) $З_{т2} = 1,048$ грн [15, табл.2.18, с.94];

б) $З_{н2} = 1,048$ грн [15, табл.2.18, с.94].

За формулою (6.4) розраховую заробітну платню робітника та наладжувальника:

$$З_p = З_n = 1,048 \cdot 1,2 = 1,2576 \text{ грн.}$$

Дані для розрахунку норм витрат по електроенергії $ЭЛ_{ні}$:

а) $\Sigma N_2 = 0,46 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ – потужність лампи та верстата-заточувальника;

б) $K_{12} = 0,5$ [15, табл.2.19, с.94];

в) $K_{22} = 0,6$ [15, табл.2.19, с.94];

г) $C_{Э2} = 1,68 \text{ грн за } 1 \text{ кВт.}$

Підставимо усі відомі значення до формули (6.5):

$$ЭЛ_{ні} = \frac{0,46 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1,68}{60} = 0,004 \text{ грн.}$$

Дані для розрахунку витрат на пристосування Π_i :

а) $\Pi_2 = 0,013 \text{ коп}$ [15, табл.2.21, с.95].

Дані для розрахунку витрат на інструменти I_i :

а) $I_2 = 0,163 \text{ грн}$ – шліфувальне коло [15, табл.2,20, с.94];

Норми витрат A_2 , O_2 та P_2 розраховуються за формулами (6.6) – (6.8):

$$A_2 = \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 25000}{4015 \cdot 60} = 1,79 \text{ грн,}$$

$$O_2 = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 25000}{4015 \cdot 60} = 0,06 \text{ грн,}$$

$$P_2 = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 25000}{4015 \cdot 60} = 0,54 \text{ грн.}$$

Штучно-калькуляційний час $t_{шт-к}$ приймаю 15 хв.

Підставимо усі відомі значення у формулу (6.3):

$$C_2 = \left(1,2576 + 1,2576 + 0,004 + 0,013 + 0,163 + 1,79 + 0,06 + \right. \\ \left. + 0,54 \right) \cdot 15 = \\ = 76,278 \text{ грн.}$$

Підставимо усі відомі значення у формулу (6.2):

$$\Xi_2 = 76,278 \cdot 1500 + 0,15 \cdot 25000 \cdot 3 = 125667 \text{ грн.}$$

Розрахую остаточний економічний ефект за формулою (6.1):

$$\Xi_0 = 14930065,5 - (14922460 + 125667) = -118061,5 \text{ грн.}$$

Економічний ефект (вигода) від об'єднання операцій на одному робочому місці складатиме за попередніми розрахунками 118061,5 грн.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Аналіз потенційних небезпек

Під час технологічного процесу робітник стикається з достатньо великою кількістю складних та небезпечних об'єктів, неправильне або неуважне користування якими призводить до численних травмувань (людини) або пошкоджень (обладнання).

Процес обробки деталі виконується переважно на верстаті з ЧПК, що закривається захисними відкатними дверцятами під час механічної обробки деталі. Також застосовуються верстаки з пневмо- та заточувально-полірувальними приладами, різальні інструменти та мийна машина.

Під час роботи за обладнанням можуть виникати:

- механічне травмування від вильоту інструмента чи деталі під час обробки, що викликані неправильно розрахованими режимами різання: на великій швидкості деталь чи інструмент здатні нанести великої шкоди робітнику і можуть спричинити удари та порізи;

- механічне травмування від необережного користування інструментом, пристосуванням чи деталлю під час встановлення на верстат (обладнання), знятті та транспортуванні: гострі кромки цих об'єктів можуть спричинити порізи, а великогабаритні при падінні – удари та переломи;

- механічне травмування від перевантаження мережі або вихід з ладу електрообладнання: можливе ураження струмом, що може призвести до опіків або непритомності.

Найбільш поширеними небезпечними психофізіологічними чинниками можуть бути:

- неправильний обмін речовинами в організмі, втома та втрата концентрації під час роботи, погіршення функцій органів (зору, слуху, тактильного відчуття тощо): викликані працею робітника переважну частину ТП в монотонному положенні – стоячи чи сидячи або в постійному

напруженні окремих органів чи частин тіла, наприклад: зору, слуху, постійною роботою руками;

— стреси, що можуть бути викликані особистою поведінкою людини, взаємодією з людьми на роботі, надвисоким ступенем відповідальності, недосвідченістю; у людей з чутливим серцем можуть виникати нервові розлади, роздратованість;

До основних небезпечних санітарно-гігієнічних чинників відносяться:

— дрібнодисперсний пил, що з'являється під час роботи на полірувальному обладнанні у цеху з неефективною або зламаною вентиляцією; пил осідає на органи дихання, викликає кашель та роздратування дихальних шляхів;

— потрапляння на шкіру та в організм хімічних речовин, що викликане неправильним або неналежним їх використанням (не за призначенням, без спецодягу) на верстаті (верстаку) під час обробки або у мийці і можуть призвести до подразнення тіла, а при потраплянні до організму викликати отруєння людини;

Нехтування правилами пожежної безпеки може призвести до знищення матеріально-технічної бази підприємства (цеху) внаслідок несправності системи протипожежної безпеки, що в свою чергу може викликати:

— займання робочих приміщень (адміністративних, інструментальних будівель тощо): може спричинити опіки різного ступеню важкості або загибель персоналу;

— вихід з ладу обладнання, який використовувався не за призначенням або в часи, коли необхідно було проводити техогляд: може спричинити самозаймання або вибух та нанести тілесної шкоди персоналу, що знаходиться в зоні ураження.

Загалом безпеки на виробництві можуть бути викликані:

- внаслідок людського недбальства та невідповідності до можливих наслідків та шляхів їх вирішення;
- внаслідок природних катаклізмів, що можуть викликати руйнування споруд та обладнання або пожежу.

7.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Для запобігання травматизму під час роботи з інструментальним оснащенням та пристроями необхідно дотримуватися «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Затверджено Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 № 966. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 лютого 2014 р. за № 327/25104, а також НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» [56].

Для обробки деталі верстат оснащений компактною захисною кабіною з відкатними дверцятами робочої зони згідно ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і змінних захисних огорож» [57], що закриваються на час обробки. Доступ до деталі в цей час відсутній. Новітня система керування верстатом унеможливорює помилкове потрапляння сторонніх предметів чи робітника під час обробки.

Габарити верстата дозволяють зручно та точно встановити деталь розмірами 790x560 мм на робочому столі без перешкод.

Затискання інструмента відбувається механічно механізмом з тарілчастими пружинами. Циліндр розтискання інструмента активується пневматикою.

Відведення стружки під час обробки забезпечується захисними кожухами.

Під час роботи поруч або безпосередньо за електроустановкою існує небезпека ураження струмом, тому необхідно дотримуватися правил безпеки за НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок», НАПБ В.01.056-2013/111 «Правила будови електроустановок. Пожежна безпека електроустановок. Інструкція» та працювати лише на налагодженому обладнанні. Наслідки ураження залежать від опору організму, середовища, тривалості дії, частоти та роду струму тощо.

Обладнання застосовується із захисним заземленням згідно ДСТУ EN 60204-32:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги». Згідно «ПУЕ» опір захисного заземлення не перевищує 4 Ом для електрообладнання з напругою до 1 кВ [57].

Під час роботи за ручним чи автоматичним полірувальним обладнанням, на якому обробляється алюмінієві деталі, необхідно дотримуватися вимог ДСТУ 7239:2011 «ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація».

Задля мінімізації негативних наслідків таких як: травмування чи перевтомлення, під час виконання ТП на робочому місці необхідно дотримуватися вимог державного стандарту України ДСТУ 7950:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги» та ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги».

Для подальшого запобігання травматичних випадків на виробництві кожен діючий та новий працівник повинен проходити інструктаж (вступний та первинний). Дотримання вимог обов'язкового проходження інструктажів за НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [53, 54]. Для оцінки фізіологічного стану працівника перед початком роботи необхідно проходити медичний огляд згідно Наказу Міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду

працівників певних категорій». В подальшому медичний огляд відбувається за рахунок роботодавця.

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для механічної дільниці та робочих кімнат розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 [61], ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Мікрокліматичні умови на дільниці:

- температура повітря;
- відносна вологість повітря;
- швидкість руху повітря;
- інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення;
- температура поверхні

відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [58], ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» та ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень». Роботи на дільниці належать до категорії Іб – легкі фізичні роботи. Передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

—у холодну пору року: температура 21...23°C; відносна вологість: 40...60%; швидкість повітря: 0,1 м/с;

—у теплу пору року: температура 22...24°C; відносна вологість: 40...60%; швидкість повітря: 0,1 м/с.

Враховуючи, що деталь виготовлена з алюмінієвого сплаву, то в процесі її обробки утворюється дрібнодисперсна пил. Гранично допустима норма за ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» складає 6 мг/м³, що відноситься до 3 класу небезпеки. Його потрапляння на шкіру та в організм людини може призводити до різних захворювань, найчастіше з яких порушення органів дихання, тому приміщення, де проводиться обробка, повинно бути обладнане вентиляцією, що відповідає ГОСТ 2.2.137-96 «Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общие требования безопасности».

Забезпечення параметрів мікроклімату та очищення повітря під час обробки деталі досягається оснащенням приміщень системою опалювання, що збалансована з припливно-витяжною вентиляцією, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Освітлення виробничих приміщень відіграє важливу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, які працюють в умовах зорового напруження. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [59] передбачено природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи (забезпечення коефіцієнту природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%). Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочий поверхні становить 200...300 лк. В якості джерел освітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, що встановлені у світильники типу ЛПО. Для забезпечення нормованого освітленні на дільниці механічного цеху застосовуються світильники типу РСП з газорозрядними лампами типу ДРЛ. Вони є високоефективними, економічними, надійні, зі строком служби понад 8000...14000 годин.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснюється за допомогою використання більш сучасного обладнання; розташування обладнання, що створює рівень шуму, більший за нормативно допустимий (понад 80дБа), на значній відстані від більшості робочих місць працівників.

Рівні вібрації під час роботи на обладнанні не перевищують допустимі значення, що визначені в ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» і ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги».

Для зменшення негативного впливу вібрації, що може викликати спазми судин, порушення кровообігу та терморегуляції, біль в суглобах, тремору кінцівок, під час роботи з ручним механічним, електричним та пневматичним інструментом застосовуються засоби індивідуального захисту НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» [56] Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року №966. Під час роботи в умовах загальної вібрації застосовується антивібраційний спецодяг.

7.4 Заходи з пожежної небезпеки

Заходи з пожежної безпеки для приміщення механообробної ділянки та технологічного бюро розроблено відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж

(EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» [62] приміщення відноситься до класу можливої пожежі:

— А – пожежі, що супроводжується горінням твердих матеріалів (механообробна дільниця);

— В – пожежі, що супроводжуються горінням рідин або твердих речовин, що переходять у рідкий стан (механообробна дільниця);

— Е – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок на верстатах, заточувально-полірувальне обладнання, холодильні установки, системи змащування, системи кондиціонування тощо (механообробна дільниця, технологічне бюро).

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, що регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [60] та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» механічна дільниця та технологічне приміщення відповідає категорії «Д» з пожежної небезпеки – знижено пожежонебезпечна – наявність негорючих рідин та матеріалів у холодному стані.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» приміщення обладнанні автоматичними сигналізаторами пожежі.

Система пожежного водопостачання та первинні засоби пожежогасіння відповідають вимогам «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677.

На рис. 7.1 представлено план евакуації з технологічного приміщення, що розташовано на другому поверху будівлі механообробного цеху.

Ширина коридорів складає 2 метри; висота до стелі 2,2 метри.

Двері двостулкові відчиняються в один бік. Їх геометричні параметри (ширина та висота): 1,6 х 2 м. Кількість дверей, яку треба пройти до найближчого виходу з технологічного приміщення і опинитися на

сходинок частині, а далі на вулиці, складає 2 одиниці. Ширина площадки сходинок складає 1,5 метри.

В приміщенні техбюро встановлено 7 вікон. Усі двостулкові. Геометричні параметри вікон (ширина та висота): 1,2 x 1,6 м.

В самому приміщенні ширина проходів між столами складає від 0,8...1,5 метрів. Площа приміщення $S = 170 \text{ м}^2$. Кількість працівників: 23 особи. Комп'ютерних столів: 23 одиниці. Згідно СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» площа S_1 на одного працівника не повинна бути менше, ніж $S_1 = 6 \text{ м}^2$. В розглядуваному плані площа дорівнює $S_1 = 7,39 \text{ м}^2$, що забезпечує не тільки комфортні умови праці, а й швидку евакуацію.

Приміщення технологічного бюро має два напрямки для здійснення евакуації.

Дії персоналу у разі виникнення пожежі.

1. негайно повідомити про небезпечну ситуацію за телефоном 101 чи внутрішньозаводським: необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення вогнища, присутність людей, їхня кількість, назвати своє прізвище;

2. прийняти (за можливістю) дії, що направлені на евакуацію людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження матеріальних цінностей;

3. повідомити про пожежу керівнику чи відповідальній особі (компетентна особа з питань надзвичайних ситуацій чи черговому);

4. в разі необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби (швидка, служба газу тощо);

5. направити людину на зустріч пожежного підрозділу.

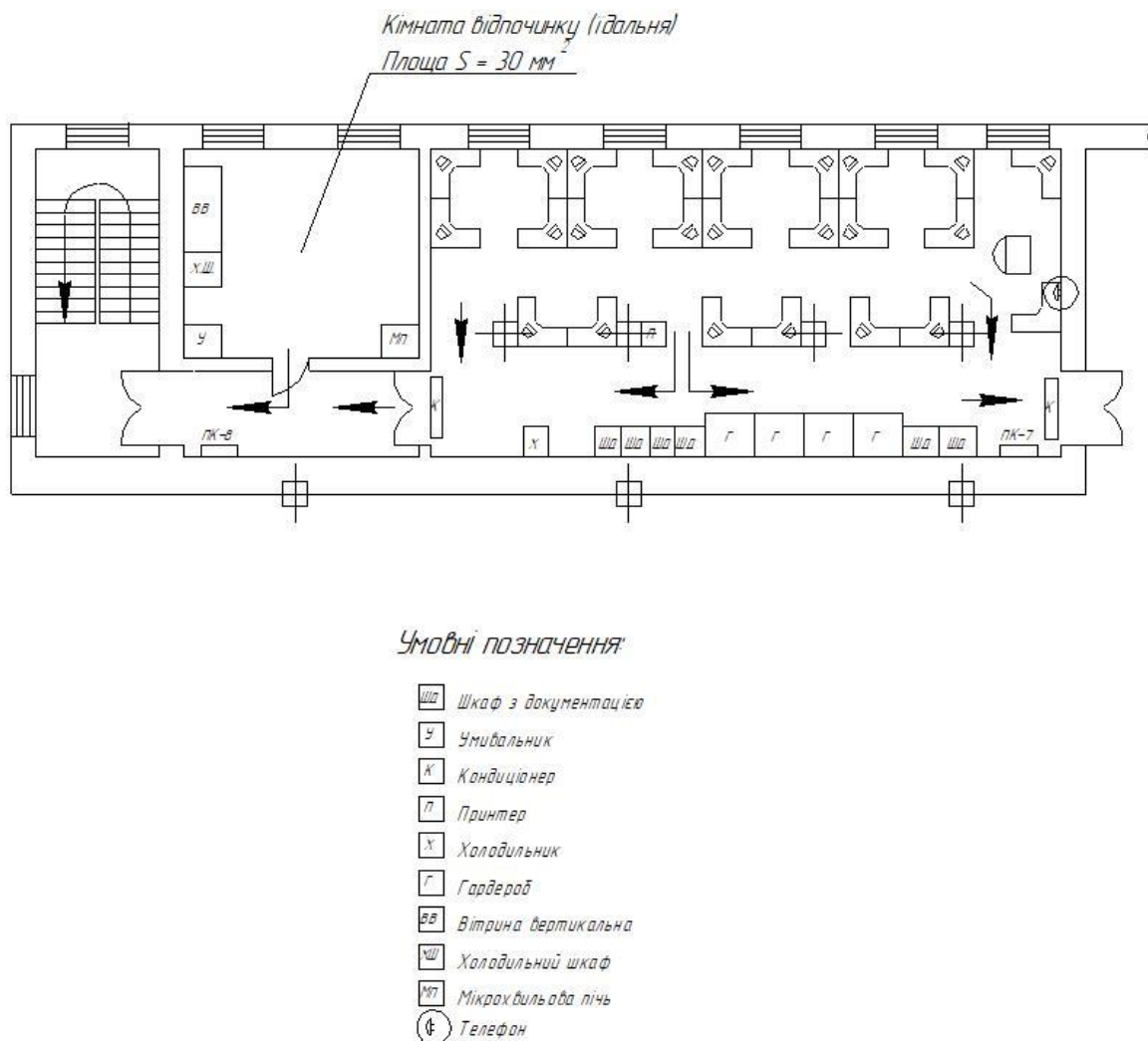


Рисунок 7.1 – План евакуації з приміщення технологічного бюро

7.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

В даному підпункті розглядається використання сил цивільного захисту на хімічно небезпечному об'єкті при ліквідації вогнищ ураження, утворених витіканням великої кількості сильнодіючих отруйних речовин (далі СДОР).

До хімічно-небезпечних об'єктів (далі ХНО) належать:

1) заводи та комбінати хімічних галузей промисловості, а також окремі установки та агрегати, що виробляють або використовують сильнодіючі отруйні речовини;

- 2) комплекси (заводи) з переробки нафтопродуктів;
- 3) виробництва інших галузей промисловості, що використовують сильнодіючі ядовиті речовини;
- 4) підприємства, що користуються холодильними установками, водонапірними станціями й очисними спорудами з застосуванням хлору або аміаку;
- 5) залізничні станції та порти, де концентрується продукція хімічних виробництв, термінали та склади на кінцевих пунктах переміщення хімічних речовин;
- 6) транспортні засоби, контейнери і наливні поїзди, автоцистерни, річкові та морські танкери, що транспортують хімічні продукти;
- 7) склади та бази, на яких містяться запаси речовин для дезінфекції, дератизації сховищ для зерна та продуктів його переробки;
- 8) склади та бази із запасами отрутохімікатів для сільського господарства. [44]

До основних чинників, що спричиняють аварії на ХНО можна віднести:

- організаційні помилки людини;
- несправність в системі контролю та забезпечення безпеки виробництва;
- поломки вузлів, устаткування, трубопроводів, ємностей або окремих деталей;
- несправності у системі контролю параметрів технологічних процесів;
- акти диверсії, обману чи саботажу виробничого персоналу або сторонніх осіб;
- дія сил природи та техногенних систем на обладнання [44].

Завдання з усунення причин та мінімізації наслідків аварійної ситуації покладається на сили цивільного захисту.

Згідно Кодексу цивільного захисту України [63], сили цивільного захисту (далі ЦЗ) – це аварійно-рятувальні формування, спеціалізовані служби

та інші формування цивільного захисту, призначені для проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт з ліквідації надзвичайних ситуацій.

Склад та основні завдання сил ЦЗ.

До сил ЦЗ належать:

- 1) оперативно-рятувальна служба цивільного захисту;
- 2) аварійно-рятувальні служби;
- 3) формування цивільного захисту;
- 4) спеціалізовані служби цивільного захисту;
- 5) пожежно-рятувальні підрозділи (частини);
- 6) добровільні формування цивільного захисту.

Основними завданнями сил ЦЗ є:

- 1) проведення робіт та вжиття заходів щодо запобігання надзвичайним ситуаціям, захисту населення і територій від них;
- 2) проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт;
- 3) гасіння пожеж;
- 4) ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій в умовах екстремальних температур, задимленості, загазованості, загрози вибухів, обвалів, зсувів, затоплень, радіоактивного, хімічного забруднення та біологічного зараження, інших небезпечних проявів;
- 5) проведення піротехнічних робіт, пов'язаних із знешкодженням вибухонебезпечних предметів, що залишилися на території України після воєн, сучасних боєприпасів та підривних засобів (крім вибухових пристроїв, що використовуються у терористичних цілях), крім територій, які надані для розміщення і постійної діяльності військових частин, військових навчальних закладів, підприємств та організацій Збройних Сил України, інших військових формувань;
- 6) проведення вибухових робіт для запобігання виникненню надзвичайних ситуацій та ліквідації їх наслідків;
- 7) проведення робіт щодо життєзабезпечення постраждалих;

8) надання екстреної медичної допомоги постраждалим у районі надзвичайної ситуації і транспортування їх до закладів охорони здоров'я;

9) здійснення перевезень матеріально-технічних засобів, призначених для проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та надання гуманітарної допомоги постраждалим внаслідок таких ситуацій;

10) надання допомоги іноземним державам щодо проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;

11) проведення аварійно-рятувального обслуговування суб'єктів господарювання та окремих територій, на яких існує небезпека виникнення надзвичайних ситуацій.

Сили цивільного захисту можуть залучатися до проведення відновлювальних робіт.

При загрозі чи у разі виникненні аварії на ХНО негайно, відповідно до діючих планів евакуації, здійснюється оповіщення працюючого персоналу і населення, що проживає поблизу. Населенню даються вказівки про порядок поведіння.

Обслуговуючий персонал відповідно до діючих на об'єкті інструкцій вживає заходи захисту населення з ліквідації чи локалізації аварії. У міру прибуття до цих робіт беруться підрозділи рятувальних служб і спеціалізовані невоєнізовані формування цивільного захисту.

За сигналом сповіщення

— населення вдягає засоби захисту органів дихання і виходить із зони ураження в зазначений район;

— особовий склад (далі ОС) органів керування збирається на пунктах керування;

— о. с. підрозділів рятувальних служб прибуває до місця аварії;

— спеціалізовані невоєнізовані формування, формування медичної служби й охорони громадського порядку прибувають у зазначені пункти збору [45].

У першочерговому порядку організовується розвідка, що встановлює місце аварії, вид СДОР, ступінь зараження нею території і повітря, стан людей у зоні ураження, межі зон ураження, напрямок і швидкість вітру, напрямок поширення забруднення. Розвідка ведеться розвідувальними підрозділами газорятувальної служби і спеціалізованих формувань ЦЗ.

Встановлюється оточення зон ураження й організовується регулювання руху.

Після проведення розвідки й ухвалення рішення починається організоване ведення рятувальних робіт. Заходи щодо порятунку людей вживаються працюючим персоналом об'єкта та самим населенням у порядку само- та взаємодопомоги [45].

У зоні ураження намічаються ділянка й об'єкти, на які вводяться рятувальні та медичні формування. Уражені після надання їм допомоги доставляються на незаражену зону, а при необхідності – у лікувальні установи. Населення, яке опинилося в зоні зараження, евакуюється за її межі.

Роботи проводяться з дотриманням запобіжних засобів, використовуються засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), передбачається страховка особового складу, що виконує роботи в незручних та ізольованих місцях.

На виході із зон зараження організовується санітарна обробка населення та ОС формувань, дегазація транспорту та майна. Ці роботи проводяться на ПуСО, СОП і СЗТ. Заражений одяг збирається для наступної дегазації чи знищення [45].

З метою найшвидшої ліквідації наслідків аварії здійснюється дегазація території, споруджень, устаткування, техніки та інших об'єктів зовнішнього середовища. Повернення населення в зону зараження допускається після проведення контролю зараженості.

Харчова сировина, продукти харчування і фураж, що опинилися в зоні зараження, перевіряють на зараженість, після чого приймається рішення на їхню дегазацію, утилізацію чи знищення.

Запаси води і джерела водопостачання також перевіряються на зараженість [45].

При виникненні аварії з викидом СДОР на транспорті оповіщаються начальники цивільного захисту (ЦЗ) району, міста й області, на території яких відбулася аварія, і за їх розпорядженням чи за розпорядженням голови надзвичайної комісії приводяться до готовності органи управління, формування розвідки, медичної служби, органи громадського порядку тощо. Організовується оточення місця аварії, рятувальні та інші невідкладні роботи [45].

Проаналізувавши основні причини небезпеки встановлено, що дотримання нормативно-правових документів та актів та визначених в них службових обов'язків дасть змогу захистити себе та працюючих під час роботи.

ВИСНОВКИ

В технологічній частині дипломного проекту було розглянуто 2 види отримання заготовки для деталі «фланець» (матеріал: АД0): штампування на пресах лиття у кокіль під тиском. За економічними розрахунками було обрано штампування на пресах.

Визначено тип виробництва: дрібносерійний при $N = 1500$ од/рік.

Розроблено поетапний МВД та приведено детальний маршрут обробки 2-ох поверхонь: циліндричної (табличним методом) та довжинної (методом розмірних розрахунків).

Також приведено ретельний розрахунок режимів різання для Оп.25 Свердлильно-фрезерна з ЧПК, що складається з 4-ох переходів – фрезерування → свердління → зенкування → свердління – та технічне нормування на ці переходи. За допомогою САМ-системи SIEMENS NX представлена розробка цих 4-ох технологічних переходів на високопродуктивному верстаті з ЧПК моделі DMC 635v ecoline.

В конструкторській частині представлено конструкції та принципи роботи робочого та контрольного пристосувань. Проведено розрахунок похибки базування та закріплення, точності та необхідної сили затискання деталі для робочого пристосування, і обрано вид приводу: ручний; розрахунок на точність для контрольного пристосування.

В пункті «Автоматизація» зазначено доцільність об'єднання 2-ох операцій – Оп.15 Фрезерна з ЧПК та Оп.20 Слюсарна – в одну, що можна виконувати на одному робочому місці, на одному верстаті, та запропоновано інструмент для більш продуктивного виконання слюсарної операції.

За допомогою модулю NX Advanced Simulation розраховано поведінку моделі вузлу хвилевода, до якого входить деталь «фланець», на міцність. Вдалося визначити найбільш навантажені зони та запропонована оптимізація геометрії вузлу.

В спеціальному завданні розглянуто основні принципи роботи хвилевода; вплив шорсткості поверхні хвилевода на передачу хвиль НВЧ через внутрішній канал; методи та інструменти для зачищення зварювальних швів на алюмінієвих хвилеводах.

Обґрунтована математично економічна доцільність об'єднання Оп.15 Фрезерна з ЧПК та Оп.20 Слюсарна в одну, що буде виконуватися на одному робочому місці та на одному верстаті (обладнанні).

Розглянуті основні фактори небезпеки на підприємстві та способи їх вирішення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Богуслаєв В.О., Ципак В.І., Яценко В.К. Основи технології машинобудування : навч. посіб. [для студ. маш.-буд. спец. ВНЗ]. – Запоріжжя: Вид-во ВАТ "Мотор Січ", 2003. – 336 с.

2. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Технології машинобудування» (розділ – проектування технологічних процесів), для студентів напрямку 6.050502. Спеціальності «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання, / Укл.: О.В.Алексєєнко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 86с.

3. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: Підручник/ за заг. ред. доц. В.М.Плескача. – Запоріжжя: Просвіта, 2013. – 372с., іл. 146.

4. Додатки до методичних вказівок для виконання практичних занять з дисциплін «Технологічні основи машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин» для студентів спеціальності 6.05050201 – технологія машинобудування всіх форм навчання // Укл.: В.І. Ципак (перевидання 2-е). Під ред., Гончар Н.В. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012 – 62 с.

5. Альбом контрольно-измерительных приспособлений: Учебное пособие для вузов / Ю.С. Степанов, Б.И. Афонасьев, А.Г. Схиртладзе, А.Е. Щукин, А.С. Ямников. / Под общ. ред. Ю.С. Степанова.-М.: Машиностроение, 1998. – 184 с.

6. Марфицын В.В., Овсянников В.Е. Расчет и проектирование контрольных приспособлений: Учебное пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2012. – 57 с.

7. Садовников И.В. Контрольно-измерительные приспособления: учеб. пособие / И.В. Садовников. – Чита: ЧитГУ, 2008. - 178 с.

8. А.С. Смагин Проектирование контрольно-измерительного приспособления [Электронный ресурс] : Методические указания к практической работе по дисциплине «Технологическая оснастка» для студентов любой формы обучения всех машиностроительных специальностей и направлений / А.С. Смагин. – Электрон. текстовые дан. – Екатеринбург: УФУ, 2018. – 48 с.

9. Конструкция приспособлений. Справочное пособие. Под общей редакцией В.А. Богуслаева. Изд. ОАО «Мотор Сич», Запорожье – 2004 г. -203 стр.

10. «Алюминий», перев. с нем. Г. Гинсберг. Изд-во «Металлургия», 1968, с. 109.

11. «Техника сверхвысоких частот», перев. с англ. Харвей А.Ф. Изд-во «Советское радио», Москва, 1962, т. 1, стр. 784.

12. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник/В. И. Баранчиков, А. В. Жаринов, Н. Д. Юдина и др.; Под общ. ред. В. И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.: ил.

13. Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов. – 5-е издание, стереотипное. Перепечатка с четвертого издания 1983 г. – М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.

14. Справочник нормировщика – машиностроителя. Техническое нормирование механосборочних работ. Под. ред., Е.Н. Стружестраха – М.: Машгиз, 1961. – т.2.

15. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування і машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» (8.090202) та «Двигуни та енергетичні установки літальних апаратів» (7.100102) усіх форм навчання. / Склали: Яценко В.К., Ципак В.І., Коренєвський Е.Я., Хорошков В.Д., Кононов В.В., Смирнов О.С., Сахно О.Г., Зінкевич К.В., Гончар Н.В., Рубель О.В.,

Пухальська Г.В., Олексієнко О.В., Каліуш В.І., Савчук Н.О. – Запоріжжя, ЗДТУ, 2000. 245 с.

16. Серебrenицкий П.П. Обработка деталей механическими щетками. Ленинград: Лениздат, 1967 г, 152 с.

17. Тиждень науки-2020. Машинобудівний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 13–17 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Редкол. : В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана. ISBN 978-617-529-259-4.

18. П.Р. Тришин. Автоматизація фінішного оброблення прямокутних кутових хвилеводів S-діапазону / П.Р.Тришин, Н.В. Гончар, К.О. Терещенко. – Текст: непосредственный // Авіа-космічна техніка і технології, ХАІ. – 2020. - №9..

19. Зверинцева, Л. В. Инструмент для абразивного полирования внутренней поверхности волноводов космических аппаратов [Текст] / Л. В. Зверинцева // Весник СибГАУ. – 2008. – Т. 1, № 18. – С. 162–166.

20. Пат. 2588953 Российская Федерация, МПК⁷ В 23 Н 5/06, В 23 Н 9/14. Способ анодно-абразивного полирования отверстий [Текст] / Трифанов И. В., Оборина Л. И., Рыжов Д. Р., Сутягин А. В., Малько Л. С., Трифанов В. И. ; заявитель и патентообладатель Сибирский гос. аэрокосм. ун-т им. акад. М. Ф. Решетнева. – № 2014149535/02 ; заявл. 08.12.2014 ; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19. – 11 с. : ил.

21. Грачева, М. А. Технологическое обеспечение качества поверхности каналов волноводных изгибов анодно-абразивным полированием [Текст] / М. А. Грачева, И. В. Трифанов // [Актуальные проблемы авиации и космонавтики](#) – 2016. – Т. 2, №12. – С. 141–143.

22. Зверинцев, В. В. Устройство для абразивно-экструзионной обработки коротких волноводов сантиметрового диапазона [Текст] / В. В. Зверинцев, Л. В. Зверинцева, С. К. Сысоев, Д. В. Чураков //

Решетневские чтения : материалы XVIII Междунар. науч. конф., Красноярск, 11–14 ноября 2014 г. – Красноярск, 2014. – Т.1 – С. 398–400.

23. Hybrid abrasive flow machining for nano finishing – a review [Text] / P. Ali, S. Dhull, R.S. Walia et all // Materials Today: Proceedings. – 2017. – vol. 4. – no. 8. – P. 7208-7218. DOI: 10.1016/j.matpr.2017. 07.048.

24. On establishment and validation of a new predictive model for material removal in abrasive flow machining [Text] / H. Wei, C. Peng, H. Gao et all // [International Journal of Machine Tools and Manufacture](#). – 2019. – vol. 138. – P. 66-79. DOI: [10.1016/j.ijmachtools.2018.12.003](#).

25. Зверинцева, Д. В. Отделка внутренних поверхностей волноводов для космических аппаратов [Текст] / Д. В. Зверинцева, А. С. Сысоев, С. К. Сысоев, П. А. Юнг // Вестник СибГАУ. – 2006. – № 4. – С. 56–59.

26. Кочкина, В. А. Исследование процесса обезжиривания латунных волноводов сложной формы после полирования абразивной средой [Текст] / В. А. Кочкина, О. И. Багаева, Л. В. Зверинцева, Г. В. Кочкина // [Актуальные проблемы авиации и космонавтики](#). – 2016. – Т.1. – С. 925–927.

27. Pal, P. Computational simulation of abrasive flow machining for two dimensional models [Text] / P. Pal, K. K. Jain // Materials Today: Proceedings. – 2018. – vol. 5. – no. 5(2). – P. 12969-12983. DOI: 10.1016/j.matpr.2018.02.282.

28. «Валпорблэст» – российское предприятие, ведущий разработчик и производитель в России оборудования для гидроабразивной прокачки (жидкий напильник) и гидродробементной очистки (бескислотного травления) [Электронный ресурс] – Режим доступа:<http://vaporblast.ru>. – 04.08.2020.

29. Research of quality of a current conductive surface of aluminum waveguides at polishing with various methods [Text] / P. R. Tryshyn, N. V. Honchar, T. N. Semeryuk et all // International scientific and practical conference technical sciences: history, the present time, the future, EU experience, September 27-28 2019. – Wloclawck, Republic of Poland, 2019. – P. 140–143.

30. Fultz, D. M. Abrasive filament brush deburring of powdered metal components [Электронный ресурс] / D. M. Fultz. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.486.6713&rep=rep1&type=pdf>. – 04.08.2020.

31. Макаров, В. Ф. Автоматизированное скругление и полирование острых кромок деталей газотурбинных двигателей полимерными абразивными щетками [Текст] / В. Ф. Макаров, А. В. Виноградов, А. С. Нуртдинов // СТИН. – 2011. – №10. – С. 27–33.

32. Possibilities of robot application for glass mechanical frosting by an abrasive composite brush [Text] / M. Sary, F. Novotny, M. Horak et al // *Procedia CIRP*. – 2018. – vol. 77. – P. 134–138. DOI: [10.1016/j.procir.2018.08.251](https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.251).

33. Summary of the properties and benefits of glass mechanically frosted with an abrasive brush [Text] / M. Sary, F. Novotny, M. Horak et al // *Construction and Building Materials*. – 2019. – vol. 206. – P. 364–374. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2019.02.062](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.062).

34. Проволоцкий, А. Е. Технологические возможности полимер-абразивного инструмента [Текст] / А. Е. Проволоцкий, С. Л. Негруб // Наукові праці Донецького національного тех. ун-ту. – 2004. – № 71. – С. 125–133.

35. Raymond, N. Surface polishing of hardened grey cast iron with a compliant abrasive filament tool [Text] / N. Raymond, M. Soshi // *Procedia CIRP*. – 2016. – vol. 46. – P. 205–208. DOI: [10.1016/j.procir.2016.03.193](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.193).

36. Raymond, N. A Study on the effect of abrasive filament tool on performance of sliding guideways for machine tools [Text] / N. Raymond, M. Soshi // *Procedia CIRP*. – 2016. – vol. 45. – P. 223–226. DOI: [10.1016/j.procir.2016.02.169](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.169).

37. Preparation of symmetrical and asymmetrical cutting edges on solid cutting tools using brushing tools with filament-integrated diamond grits [Text] / T. Bergs, S. A. M. Schneider, M. Amara et al // *Procedia CIRP*. – 2020. – vol. 93. – P. 873–878. DOI: [10.1016/j.procir.2020.04.028](https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.028).

38. Fultz, D.M. Fiber abrasive finishing systems for end-deburring extruded aluminum profiles [Електронний ресурс] / D.M. Fultz. – Режим доступу: <https://cdn.thomasnet.com/ccp/00680348/49640.pdf>. – 04.08.2020.

39. Kannan, S. Experimental investigation of surface integrity during abrasive edge profiling of nickel-based alloy [Text] / S. Kannan, L. Kui // Journal of manufacturing processes. – 2019. – vol. 39. – P. 40–51. DOI: 10.1016/j.jmapro.2019.01.052.

40. Гончар, Н. В. Влияние полученной неоднородной шероховатости при полировании канала прямоугольного волновода на его электропараметры [Текст] / Н. В. Гончар, П. Р. Тришин // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): матеріали тез доповідей Х Міжнар. наук.-практ. конф., Чернігів, 29-30 квітня 2020 р. – Чернігів, 2020. – Т. 1. – С. 131–132.

41. Тришин, П. Р. Вплив наклепу при фінішній обробці на електропровідність робочого шару каналу хвильоводів [Текст] / П. Р. Тришин, Н. В. Гончар // Инженерия поверхности и реновация изделий: материалы тез докладов 20-й Международ. науч.-тех. конф., 01-05 июня 2020 г. – Киев, 2020. – С. 123-124.

42. OSBORN Product catalogue 2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.figra.hu/download/osbornkat.pdf>. – 04.08.2020

43. Расчет приспособления на точность: практикум по дисциплине «Изготовление деталей самолета» для студентов, обучающихся по направлению 24.03.04 «Авиационное» и специальности 24.05.07 «Самолето – и вертолетостроение» / сост. С. А. Кобелев. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. – 39 с.

44. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист : підручник / М.І. Стеблюк. – 3-тє вид., стер. – К.: Знання, 2013. – 487 с.

45. Шоботов В. М. Цивільна оборона: Навчальний посібник: Вид. 2-ге, перероб. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.

46. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 496 с., ил.

47. ПЕРЕДАЧА ВИНТ - ГАЙКА: учебное пособие/ сост. В.О. Варганов, М.В. Аввакумов, М.В. Колычев, В.М. Гребенникова, В.А. Романов; СПбГТУРП. – СПб., 2015 – 57с.

48. Методичні вказівки з оформлення технологічної документації в курсових проектах та магістерських роботах для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання / Укл.:В.О. Логомінов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 70 с.

49. Никифоров Г.Д. Металлургия сварки плавлением алюминиевых сплавов. – М.: Машиностроение, 1972. – 260 с.

50. Рубинчик Ю.Л. Механизированная сварка корпусных конструкций из алюминиевых сплавов. – Л.: Судостроение, 1974. – 135 с.

51. Ambriz R.R., Jaramillo D. Mechanical Behavior of Precipitation Hardened Aluminum Alloys Welds // InTech. – 2014. – P. 35–58.

52. Щипков М.Д. Сварка сплавов на основе алюминия и тугоплавких высокоактивных металлов / Ленингр. политехн. ин-т им. И.М. Калинина. – Л., 1983. – 77 с.

53. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проектах) зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньою програмою (спеціалізація) «Технологія машинобудування»; 133 «Галузеве машинобудування» за освітньою програмою (спеціалізація) «Металорізальні верстати та системи; 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» за освітньою програмою (спеціалізація) «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок» / Укл. : В.І. Шмирко – Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 32 с.

54. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. [На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93]. К. : Держнагляд охорони праці, 2005. 26с.- (Нормативно-правовий акт охорони праці).

55. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

56. НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року № 966 .

57. ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож».

58. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]:– Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

59. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

60. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Державний Стандарт України).

61. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 ; чинний від 2014-05-30]. К. : МОЗ України, 2014. 37 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. (Державні санітарні норми та правила).

62. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT) [Текст] : ДСТУ EN 2:2014. – На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016/ Мінекономрозвитку України, 2014. – 7 с. (Державний Стандарт України).

63. Кодекс цивільного захисту України. Київ, 2012. 120 с.

ДОДАТОК А

Специфікація робочого пристосування

Перед примеч.		Формат	Зона	Паз	Обозначение	Наименование	кол.	Примечание
Стор. №		A1			НУЗП 293155.023СК	Складальне креслення		
						Документация		
						Сборочные единицы		
			1			Плита	1	
			2			Прихват	1	
						Стандартные изделия		
			3			Hexagon socket set screw ISO 4028-M16x60	1	
			4			Hexagon thin nut ISO 8675-M16x1,5	1	
			5			Washer ISO 7090-16-200HV	1	
			6			Пружина стискування ГОСТ 13768-86	1	
Підп. і дата			7		Палець 7030-2531 ГОСТ 16901-71	2		
			8		Шпанка 7031-0606 ГОСТ 14737-69	2		
			9		Hexalobular socket head cap screw ISO 14579-M6x30	2		
Взам. инв. №								
Підп. і дата								
Інв. № підп.								
					НУЗП 293155.023			
		Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
		Разработ.	Терещенко К.О.			Пристосування для фрезерування по контуру (Операція 030 Фрезерна з ЧПК)		
		Прой.	Ганчар Н.В.					
		Н.контр.	Логанінов В.О.			Лит. Лист Листов 1		
		Утв.	Дядя С.І.					
						НУ "ЗП" Група М-119м		
						Формат А4		

Копіював

ДОДАТОК Б

Специфікація контрольного пристосування

Формат		Знак	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перед. примеч.							
					Документация		
	A1			НУЗП 401916.023СК	Складальне креслення		
Справ. №					Сборочные единицы		
			1		Гвинт натискний	2	
			2		Індикатор Mahr 810S	1	
			3		Магнітна основа Mahr 815Y	1	
					Детали		
			4		Втулка	1	
			5		Кожух	1	
			6		Кріплення індикатора	1	
			7		Хрестовина	1	
			8		Основа підшипника	1	
			9		Палець	1	
			10		Плита контрольна	1	
			11		Важіль	1	
			12		Стійка вертикальна	1	
			13		Стійка горизонтальна	1	
		14		Обмежувач повороту	1		
		15		Фіксатор вертикальний	1		
Підп. і дата							
Взам. інв. №							
Підп. і дата							
Інв. № подл.	Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	НУЗП 401916.023		
	Разраб.	Герещенко К.О.			Пристосування для контролю площинності		
	Прой.	Гончар Н.В.					
	Нконтр.	Логомінов В.О.			Лит.	Лист	Листов
	Утв.	Дядя С.І.				1	2
					НУ "ЗП" Група М-119м		
					Копіював Формат А4		

[illegible]

Копировал

Формат А4